Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

Университет Туран

Люблинский технический университет, Польша

«Ғылым ордасы»

МАТЕРИАЛЫ

IV международной научно-практической конференции "Информатика и прикладная математика", посвященной 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

Часть 1

Алматы 2019

УДК 378 (063)
ББК 74.58
И74

Главный редактор:
Калимолдаев М.Н. - генеральный директор ИИВТ, академик НАН РК, доктор физико-математических наук, профессор

Ответственные редакторы:
Мамырбаев О.Ж. - заместитель генерального директора ИИВТ, доктор PhD
Калижанова А.У. - заместитель генерального директора ИИВТ, кандидат физико-математических наук
Юничева Н.Р. - ученый секретарь ИИВТ МОН РК, кандидат технических наук, доцент

И 74 **Информатика и прикладная математика:** Мат. IV Межд. науч. конф. (25-29 сентября 2018 г.). Часть 1. – Алматы, 2019. – с. 617

ISBN 978-601-332-384-8

В сборнике опубликованы доклады, представленные по 4 секциям от Республики Казахстан, Российской Федерации, США, Латвии, Польши, Республики Беларусь, Украины, Азербайджана, Узбекистана, Японии, Кореи, Ирана, Португалии, Испании, Великобритании, Греции, Кыргызской Республики и других.

Рассмотрены актуальные вопросы в области математики, информатики и управления: математического моделирования сложных систем и бизнес-процессов, исследования и разработки защищенных и интеллектуальных информационных и телекоммуникационных технологий, математической теории управления, технологий искусственного интеллекта.

Материалы сборника предназначены для научных работников, докторантов и магистрантов, а также студентов старших курсов.

УДК 378 (063)
ББК 74.58

ISBN 978-601-332-384-8

© Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, 2019

Программный комитет

Почетный председатель:

- Мутанов Г.М., академик НАН РК, Казахстан

***Председатель Международного Программного комитета*:**

- Калимолдаев М.Н., академик НАН РК, д.ф.-м.н., профессор, генеральный директор ИИВТ МОН РК, Казахстан

Сопредседатель:

- Алшанов Р.А., академик Международной инженерной академии, д.э.н., профессор, президент Ассоциации вузов РК, ректор университета «Туран», Казахстан

Заместители председателя:

- Ружанский М., доктор PhD, Великобритания
- Wójcik Waldemar, doctor of technical sciences, professor, Poland

Члены международного программного комитета:

- Абламейко С.В., академик НАН Беларусь
- Адамов А., д.ф.-м.н., профессор, Азербайджан
- Айда-заде К.Р., д.ф.-м.н., член-кор. НАН, профессор, Азербайджан
- Амиргалиев Е.Н., д.т.н., профессор, Казахстан
- Арсланов М.З., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Ахмед-Заки Д.Ж., д.т.н., доцент, Казахстан
- Ашимов А.А., академик НАН РК, Казахстан
- Балгабаева Л.Ш., к.т.н, доцент, Казахстан
- Бияшев Р.Г., д.т.н., профессор, Казахстан
- Бобров Л.К., д.т.н., Россия
- Дженалиев М.Т., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Дрозденко А.А., PhD, Украина
- Евтушенко Ю.Г., академик РАН, Россия
- Ерзин А.И., д.ф.-м.н., профессор, Россия
- Имомназаров Х.Х., д.ф.-м.н., профессор, Россия
- Исмаилов Б.И., д.т.н., профессор, Кыргызстан
- Ищукова Е.А., к.т.н., Россия
- Конявский В.А., д.т.н., профессор, Россия
- Коплык И.В., PhD, Украина
- Кочетов Ю.А., д.ф.-м.н., профессор, Россия
- Куандыкова Д.Р., к.т.н., профессор, Казахстан
- Кубеков Б.С., к.т.н., доцент, Казахстан
- Кудайкулов А.К., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Мазаков Т.Ж., д.т.н., профессор, Казахстан
- Медянкина И.П., к.т.н., Россия
- Мусабаев Р.Р., к.т.н., Казахстан
- Набиев О.М., д.т.н., профессор, Узбекистан
- Нусупбекова Г.С., д.т.н., профессор, Казахстан
- Нысанбаева С.Е., д.т.н., доцент, Казахстан
- Пак И.Т., д.т.н., профессор, Казахстан

- Посыпкин М.А., д.ф.-м.н., Россия
- Родионов А.С., д.т.н., профессор, Россия
- Рысбайулы Б., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Сакабеков А.С., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Самигулина Г.А., д.т.н., доцент, Казахстан
- Суйменбаев Б.Т., д.т.н., Казахстан
- Соколова О.Д., к.т.н., Россия
- Ташев А.А., д.т.н., профессор, Казахстан
- Тузиков А.В., академик НАН, Беларусь
- Тукеев У., д.т.н., профессор, Казахстан
- Тультаев Б.Т., к.т.н., Казахстан
- Тарасов В.Б., д.ф.-м.н., профессор, Россия
- Тусупова С.А., д.т.н., профессор, Казахстан
- Ускенбаева Р.К., д.т.н., профессор, Казахстан
- Утепбергенов И.Т., д.т.н., профессор, Казахстан
- Федотов А.М., д.ф.-м.н., Россия
- Хайрова Н.Ф., д.т.н., Украина
- Харин С.Н., академик НАН РК, Казахстан
- Шаронова Н.В., д.т.н., Украина
- Шаршеналиев Ж.Ш., академик НАН КР, Кыргызстан
- Яворский В.В., д.т.н., Казахстан
- Erol Kurt, Professor, Doctor, Turkey
- Prof. Bagher Baba Ali, Iran
- Prof. Leonid Perlovsky, USA
- Prof. Frank Chong woo Park, South Korea
- Prof. Mohamed Othman, Malaysia
- Prof. Hamdani bin Saidi, Malaysia
- Prof. Hiroshi Inaba, Japan
- Prof. Keylan Alimhan, Japan
- Prof. Marat Ahmet, Turkey
- Prof. Masayasu Ito, Japan
- Prof. Nenad Mladenovich, Serbia
- Prof. Ravil Muhamediev, Latvia
- Prof. Tenreiro Machado, Portugal
- Prof. Thanos Stouraitis, Greece
- Prof. Kisala Piotr, Poland
- Prof.Kotyra Andrzej Antoni, Poland

Ученые секретари конференции:

- к.т.н. Юничева Н.Р.
- к.т.н. Капалова Н.А.
- PhD, Абдилдаева А.А.
- PhD, Шаяхметова А.С.
- PhD, Козбакова А.Х.

Организационный комитет

Председатель:

- PhD, ассоц. профессор, Мамырбаев О.Ж.

Сопредседатели:

- К.ф.-м.н., ассоц. профессор, Калижанова А.У.
- PhD, Ахметжанов М.А.

Члены организационного комитета:

- Айтмухамбетова Г.А.
- Ахметов Е.А.
- Амирханова Г.А.
- Анищенко Л.Н.
- Асқарова А.
- Аспантаев А.
- Абишева А.
- Ахмедиярова А.
- Бегимбаева Е.Е.
- Бегалиева К.
- Калиева Г.С.
- Касымова Д.Т.
- Кулемзин А.А.
- Мажитов Ш.С.
- Масимканова Ж.А.
- Маусымбекова С.Д.
- Науменко В.В.
- Нуржанов Ч.
- Зиятбекова Г.
- Галиева Ф.М.
- Джаксылыкова А.
- Дуйсенбаева А.
- Дюсенбаев Д.
- Елеусинов А.
- Нуркаманова М.А.
- Тасболатұлы Н.
- Тойбаева Ш.Ж.
- Турдалы М.
- Утегенова А.У.
- Усатова О.
- Шахмаев Р.А.
- Шокишалов Ж.

Место проведения

Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 28,
Ғылым ордасы, с 25 по 29 сентября 2019 г.

Тел.:

+7 727 272 37 11;

+7 727 272 73 27;

+7 727 272 39 13

СЕКЦИЯ 1

Қолданбалы математика, информатика және басқару теориясының қазіргі заманғы мәселелері. Бизнес процесстер мен күрделі жүйелерді оңтайландыру мен модельдеу. Есептеу математикасы, сандық талдау және программалау, математикалық логика. Статистика теориясы. Статистикалық әдістер

Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления. Моделирование и оптимизация сложных систем и бизнес процессов. Вычислительная математика, численный анализ и программирование, математическая логика. Теория статистики. Статистические методы

Current issues of applied mathematics, computer science and control theory. Modeling and optimization of complex systems and business processes. Computational mathematics, numerical analysis and programming, mathematical logic. Theory of statistics. Statistical methods

UNPREDICTABLE SOLUTIONS FOR A SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS

Akhmet M., Fen M.O., Tleubergenova M.A., Zhamanshin A.U.
marat@metu.edu.tr, monur.fen@gmail.com, madina_1970@mail.ru,
akylbek78@mail.ru
Middle East Technical University, Turkey
TED University, Turkey
Institute of Information and Computational Technologies, Kazakhstan
Aktobe Regional State University named after K. Zhubanov, Kazakhstan

Abstract. *The existence of unpredictable motions in systems of quasilinear differential equations with hyperbolic linear part is rigorously proved. Appropriate examples with simulations that support the theoretical results are provided.*

1. Introduction and Preliminaries

A special type of Poisson stable trajectory called an unpredictable trajectory, which leads to Poincaré chaos in the quasi-minimal set, was introduced in the paper [2]. Moreover, the papers [1]-[3] were concerned with the unpredictable solutions of various types of quasilinear differential equations in which the matrix of coefficients admits eigenvalues all with negative linear part.

In paper [8], stronger versions of Ruelle-Takens and Auslander-Yorke chaos were considered on the basis of unpredictable points, and the concept of unpredictable point was generalized for semiflow with arbitrary acting topological monoids.

In this study, we deal with the unpredictable solutions of quasilinear differential equations with hyperbolic linear part such that the matrix of coefficients admits eigenvalues both with negative and positive real parts.

Being based on the existence of only one special type of Poisson stable trajectory, the confirmation of the presence of Poincaré chaos is easier compared to the other chaos types [4,7,10] since their definitions require the interaction of infinitely many motions such as sensitivity and the existence of a dense set of infinitely many unstable periodic motions embedded in the chaotic attractor.

As it was confirmed in papers by Akhmet and Fen [2]-[3] the existence of unpredictable solutions simultaneously means the presence of Poincaré chaos, i.e., unpredictable solutions are "irregular". This makes the subject attractive for applications. It is worth noting that the chaos presents in the dynamics where unpredictable functions are considered as points moving by shifts of the time argument [9]. The irregular behavior of solutions is a consequence of the chaotic dynamics. Moreover, the appearance of the Poincaré chaos relies on the fact that the topology of uniform convergence on compact sets in R is metrizable [9], p. 29.

Throughout the paper the Euclidean norm for vectors and the norm induced by the Euclidean norm for square matrices will be utilized.

The definition of an unpredictable function is as follows [3].

Definition 1. A uniformly continuous and bounded function $\vartheta(t): R \to R^p$ is unpredictable if there exist positive numbers ε_0, σ and sequences $\{t_n\}, \{u_n\}$ both of which diverge to infinity such that $\vartheta(t+t_n) \to \vartheta(t)$ as $n \to \infty$ uniformly on compact sets of R and $\|\vartheta(t+t_n) - \vartheta(t)\| \geq \varepsilon_0$ for each $t \in [u_n - \sigma, u_n + \sigma] \geq \varepsilon_0$ and $n \in N$.

For the convenience of our discussions, we will call the convergence of the function's shift on compact subsets of R in Definition 1 as *Poisson stability of the unpredictable function* or simply *Poisson stability* and the existence of the number ε_0 and the sequence $\{u_n\}$ as *unpredictability property of the unpredictable function* or simply *unpredictability property*}. Thus, a function is *unpredictable*, if it is *Poisson stable* and admits the *unpredictability property*.

Compared to the paper [3], we simplified the proof for the unpredictability property in the present study, and this increases the novelty as well as the applicability of the results.

The main object of the present paper is the system of quasilinear differential equations

$$x'(t) = Ax(t) + f(x(t)) + g(t), \tag{1.1}$$

where $x(t) \in R^p$, p is a fixed natural number, the function $f: R^p \to R^p$ is continuous in all of its arguments, $f(0,0,\ldots 0) = (0,0,\ldots 0)$, and all eigenvalues of the constant matrix $A \in R^{p\times p}$ have nonzero real parts. We assume that $\mathrm{Re}(\lambda_i) < 0, i = 1,2,\ldots,q$ and $\mathrm{Re}(\lambda_i) > 0, i = q+1,\ldots,p$ where $1 \leq q < p$, $\lambda_i, i = 1,2,\ldots,q$ are the eigenvalues of the matrix A and $\mathrm{Re}(\lambda_i)$ denotes the real part of the eigenvalue λ_i. Moreover, the function $g: R \to R^p$ is unpredictable with positive numbers ε_0, σ and sequences $\{t_n\}, \{u_n\}$ determined in Definition 1. Our purpose is to prove that system (1.1) possesses a unique unpredictable solution, provided that the function $g(t)$ is unpredictable and the solution is uniformly globally exponentially stable if all eigenvalues of the matrix A have negative real parts. According to the results of paper [2], the existence of an unpredictable solution implies Poincaré chaos in the dynamics.

In this paper we need the next lemma.

Lemma 1. *If the function $g(t)$ is unpredictable, then the function $f(t) = B^{-1}g(t)$ is also unpredictable.*

The proof of the lemma immediately follows from the inequalities

$$\|f(t+t_n) - f(t)\| \leq B^{-1}\|g(t+t_n) - g(t)\| \text{ and } \|f(t+t_n) - f(t)\| \leq \frac{1}{B}\|g(t+t_n) - g(t)\|.$$

The following condition on system (1.1) is required.

(**C1**) There exists a positive number L_f such that $\|f(x_1) - f(x_2)\| \leq L_f\|x_1 - x_2\|$ for all $x_1, x_2 \in R^p$.

It is known that one can find a regular $p \times p$ matrix B such that the transformation $x = By$ reduces system (1.1) to the system

$$y'(t) = Cy(t) + F(y) + G(t), \tag{1.2}$$

where $C = B^{-1}AB$, $F(y) = B^{-1}f(By)$ and $G(t) = B^{-1}g(t)$. In system (1.2), the matrix C is of the form $diag(C_-, C_+)$, where the eigenvalues of the $q \times q$ matrix C_- and $(p-q)\times(p-q)$ C_+ respectively have negative and positive real parts. Let us denote $F(y) = (F_-(y), F_+(y))$ and $G(t) = (G_-(t), G_+(t))$, where the vector-functions F_- and G_- are of dimension q and the vector-functions F_+ and G_+ are of dimension $p-q$.

It can be verified that $F(0,0,\ldots 0) = (0,0,\ldots 0) \in R$ and the function F is Lipschitzian with the Lipschitz constant

$$L_F = \|B\| \cdot \|B^{-1}\| L_f,$$

under the condition (C1), that is, such that $\|f(y_1) - f(y_2)\| \le L_F \|y_1 - y_2\|$ for all $y_1, y_2 \in R^p$. Moreover, according to the Lemma 1, the function $G(t)$ is unpredictable.

Fix a number $H > 0$ such that $\|g(t)\| < H$. Then $\|G(t)\| < \|B^1\| H$.

In the next section, the main result of the paper is formulated for system (1.2) and interpreted for system (1.1).

2. Main results

One can confirm that there exist numbers $K \ge 1$ and $\alpha > 0$ such that $e^{\|C_- t\|} \le Ke^{-\alpha t}$ for all $t \ge 0$ and $e^{\|C_+ t\|} \le Ke^{\alpha t}$ for all $t \le 0$.

The following conditions are required.

$$\textbf{(C2)}\ \frac{2}{\alpha} K\left(\|B\| L_f + 1\right) < 1;$$

$$\textbf{(C3)}\ \frac{2K\|B\| \cdot \|B^{-1}\| L_f}{\alpha} < 1.$$

According to the theory of differential equations [5,6], a function $\varphi(t) = (\varphi_-(t), \varphi_+(t))$ which is bounded on the whole real axis is a solution of system (1.2) if and only if it satisfies the equations

$$\begin{aligned} \varphi_-(t) &= \int_{-\infty}^{t} e^{C_-(t-s)} \left[F_-(\varphi(s)) + G_-(s)\right] ds, \\ \varphi_+(t) &= -\int_{-\infty}^{t} e^{C_+(t-s)} \left[F_+(\varphi(s)) + G_+(s)\right] ds, \end{aligned} \tag{2.1}$$

Let U be the set of all uniformly continuous and uniformly bounded functions $\psi(t): R \to R^p$ such that $\|\psi(t)\|_0 < \|B^{-1}\| H$, where the norm $\|\cdot\|_0$ is defined by

$\|\psi(t)\|_0 = \sup_{t\in R}\|\psi(t)\|$, and that $\psi(t+t_n)\to\psi(t)$ as $n\to\infty$ uniformly on compact subset of R.

The next theorem is concerned with the unpredictable solution of system (1.1).

Theorem 1. *Suppose that conditions* (C2) -(C3) are *valid then system* (1.1) *possesses a unique unpredictable solution. Moreover, the unpredictable solution is uniformly globally exponentially stable if all eigenvalues of the matrix A have negative real parts.*

The following two lemmas, which will be utilized in the Section 3, increases the applicability of our results.

Lemma 2. *If the function $\phi(t): R\to R^p$ is unpredictable, then the function $\phi(t)+C$ is also unpredictable, where C is a constant, is also unpredictable.*

Lemma 3. *Suppose that $\phi(t): R\to R^p$ is unpredictable function. Then the function $\phi^3(t)$ is unpredictable.*

3. Examples

One of the possible ways to confirm the presence of chaos is through simulations. The concept of unpredictable solutions maintains the series of oscillations, but from the other side the chaos accompanies unpredictability. Consequently, we can look for a confirmation of the results for unpredictability observing irregularity in simulations. The approach is effective for asymptotically stable unpredictable solutions, and it is just illustrative for hyperbolic systems with unstable solutions. In the latter case we rely on the fact that any solution becomes unpredictable ultimately.

In the following examples we will utilize the function $\Theta(t): R\to R$ defined by

$$\Theta(t) = \int_{-\infty}^{t} e^{-2(t-s)}\Omega(s)ds, \tag{3.1}$$

which was discussed in paper [3]. In (3.1) the function $\Omega(t)=\psi_i$ for $t=[i,i+1)$, $i\in Z$ where $\{\psi_i\}$, $i\in Z$ is an unpredictable solution of the logistic map

$$\lambda_{i+1} = 3.91\cdot\lambda_i(1-\lambda_i) \tag{3.2}$$

inside the unit interval $[0,1]$. The function $\Theta(t)$ is bounded on the whole real axis such that $\sup_{t\in R}\|\Theta(t)\|\le\frac{1}{2}$ and it is uniformly continuous since its derivative is bounded. It was proven in paper [3] that $\Theta(t)$ is an unpredictable function.

Example 1. Consider the system

$$\begin{aligned} x_1' &= -3x_1 + 2x_2 - 0{,}1x_2^3 + 20\Theta(t) + 3 \\ x_2' &= x_1 - 2x_2 + 0{,}5x_1^2 - 15\Theta(t) - 2 \end{aligned} \tag{3.2}$$

where $\Theta(t)$ is the unpredictable function defined by (3.1). The eigenvalues of the matrix of coefficients of system (3.3) are *-1* and *-4*. One can confirm by means of Lemma 3 that the perturbation function $(20\Theta(t)+3, -15\Theta(t)-2)$ is unpredictable. According to Theorem 1, there is a unique asymptotically stable unpredictable solution $(\varphi_1(t),\varphi_2(t))$ of system (3.3). Consequently, any solution of the equation behaves irregularly ultimately. This is seen from the simulation of the solution with $x_1(0)=1{,}18$, $x_2(0)=1{,}01$ in Figures 1 and 2.

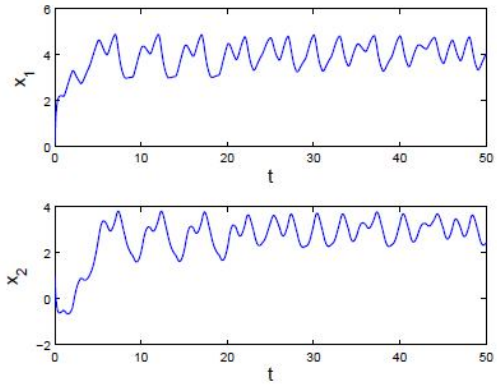


FIGURE 1. The time series of the x_1 and x_2 coordinates of system (3.3) with the initial conditions $x_1(0)=1{,}18$, $x_2(0)=1{,}01$

The figure manifests the irregular behavior of the system.

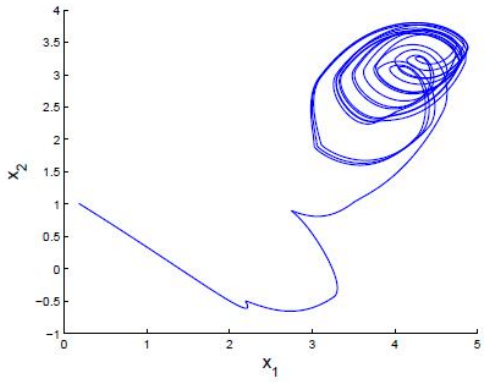


FIGURE 1. The irregular trajectory of system (3.3). The initial data $x_1(0)=1{,}18$, $x_2(0)=1{,}01$ are utilized in the simulation

The next example is devoted to a system with hyperbolic linear part such that the matrix of coefficients admits both positive and negative eigenvalues.

Example 2. Let us take into account the system

$$\begin{aligned} y_1' &= 4y_1 - 0{,}021y_2^3 - 2\varphi_2^3(t) \\ y_2' &= 7y_1 - 6y_2 - 0{,}014y_1^2 + 3\varphi_1^3(t) \end{aligned} \tag{3.4}$$

where $(\varphi_1(t),\varphi_2(t))$ is the unpredictable function defined by (3.3). One can confirm that the function $\left(-2\varphi_2^3(t), 3\varphi_2^3(t)\right)$ used as perturbation in system (3.4) is unpredictable in accordance with Lemma 3, and therefore, the system possesses a unique unpredictable solution by Theorem 1. The simulation results for system (3.4) corresponding to the initial conditions $y_1(0)=0$ and $y_2(0)=0$ are shown in Figures 3 and 4. Both of the figures reveal the irregular behavior of the solutions of system (3.4).

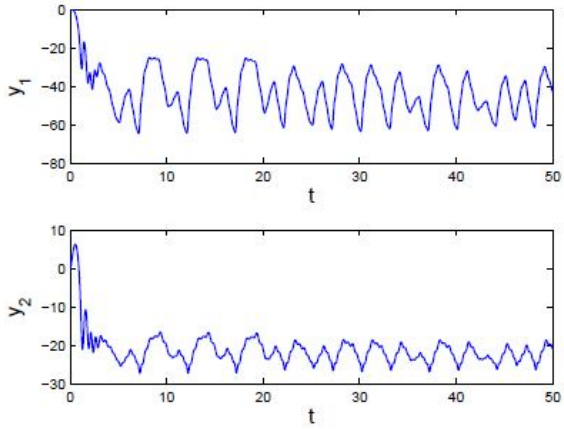


FIGURE 3. The time series for y_1 and y_2 coordinates of system (3.4) with the initial conditions $y_1(0)=0$, $y_2(0)=0$.

The irregular behavior of the solutions reveals the presence of unpredictable solution in the dynamics of (3.4).

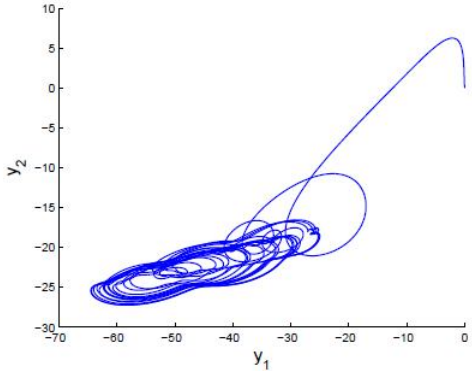


FIGURE 4. The trajectory of the solution of system (3.3).

One can observe the irregular behavior of system in the figure.

Acknowledgements

M. Tleubergenova and A. Zhamanshin have been supported by the MES RK grant No. AP05132573 "Cellular neural networks with continuous/discrete time and singular perturbations".

(2018-2020) of the Committee of Science, Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

References

1. Akhmet, M., Fen, M.O. Unpredictable points and chaos /M. Akhmet, M.O. Fen // -Commun. Nonlinear Sci. Nummer. Simulat. 2016. – N. 40. -P. 1-5.
2. Akhmet, M., Fen, M.O. Poincar'e chaos and unpredictable functions/M. Akhmet, M.O. Fen // - Commun. Nonlinear Sci. Nummer. Simulat. 2017. – N.48. -P. 85-94.
3. Akhmet, M., Fen, M.O. Non-autonomous equations with unpredictable solutions/ M. Akhmet, M., Fen, M.O.// - Commun. Nonlinear Sci. Nummer. Simulat. 2018. – N.59. –P.657-670
4. Devaney, R.L. An Introduction to Chaotic Dynamical Systems /R.L. Devaney // - Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1987.
5. Hale, J.K. Ordinary Differential Equations /J.K. Hale // - Krieger Publishing Company, Malabar, FL, USA, 1990.
6. Hartman, P. Ordinary Differential Equations /P. Hartman //- John Wiley, New York, 1964.
7. Li, T.Y., Yorke, J.A. Period three implies chaos / T.Y. Li, J.A. Yorke // - Journal of Sound and Vibration. 1975. – N. 82(10). P. 985-992.
8. Miller, A. Unpredictable points and stronger versions of Ruelle-Takens and Auslan-
der-Yorke chaos. /A. Miller // - Topology and its Applications. 2019. – N. 253. P.7-16.
9. Sell, GR. Topological dynamics and ordinary differential equations / GR. Sell // Van Nostrand Rein-hold Company, London, 1971.
10. Wiggins, S. Global Bifurcation and Chaos: Analytical Methods / S. Wiggin // - Springer, New York, Berlin, 1988.

RESEARCH AND ANALYSIS OF WEB APPLICATION SECURITY METHODS

Baimakova U.Zh., Abduraimova B.K., Zakirova A.B.
e-mail: uljana05.95@mail.ru, abduraimova_bk@enu.kz, alma_zakirova@mail.ru
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan

Abstract

The number of hardware and software systems for ensuring computer security sold in the world: unified threat management systems (UTM), intrusion detection and prevention systems (IDP), firewalls and other devices increased by 20% in the fourth quarter of 2018 compared to with the previous year and reached almost 1.1 million. In this article, we explore and compare the latest generation of firewalls for both corporate solutions and small businesses.

Currently, firewalls are one of the most important security mechanisms that is widely distributed and approved. The main objective of this fundamental security component is to provide a filtering service by blocking or providing access to certain areas and network segments based on a set of filtering rules defined in relation to the global security policy. Consequently, the effectiveness of the protection provided by the firewall is determined by the effectiveness of the filtering policy deployed in this firewall.

***Key words**: firewall, computer security, Next-Generation Firewall, unified threat management.*

Introduction

Firewall - blocking traffic from unauthorized sources is one of the oldest network security technologies, but manufacturers of relevant environments continue to develop new approaches that can more effectively counter modern threats in a changing network environment and protect corporate IT resources. New generation firewalls allow you to create policies using a wider range of contextual data and enforce them. The evolution of firewalls (FW) has come a long way. They were first developed in the late 80s by DEC and functioned mainly on the first four levels of the OSI model, intercepting traffic and analyzing packets for compliance with specified rules. Check Point then offered specialized integrated-chip (ASIC) firewalls for in-depth analysis of packet headers. These advanced systems could maintain a table of active connections and use it in rules (Stateful Packet Inspection, SPI). SPI technology allows you to check the IP addresses of the sender and recipient and monitor ports. A big step forward is the creation of FW, operating at the application level. The first such product was released by SEAL back in 1991, and two years later the open source Firewall Toolkit (FWTK) solution from Trusted Information Systems appeared. These firewalls checked packets at all seven levels, which made it possible to use extended information in rule sets (policies) - not only about connections and their state, but also about operations using a specific application protocol. By the mid-90s, firewalls were able to monitor popular application layer protocols: FTP, Gopher, SMTP, and Telnet. These advanced products (application-aware) are called the next-generation firewalls (Next-Generation Firewall, NGFW). TIS has released the commercial version of FWTK - Gauntlet Firewall. It is this product that has user authentication capabilities, URL filtering, as well as anti-malware protection and application-level security features, which is considered the first “new generation” firewall. [1], [2]

Frost & Sullivan analysts identify four generations of firewalls. The first (1985–1990) is a DEC product; the second (1996–2002) - the appearance of SPI products (Check Point) and application-level work (Gauntlet), integration of IPsec VPN functions, use of self-developed ASIC to increase productivity (Lucent, NetScreen); the third (2003–2006) - the use of Deep Packet Inspection functions and the consolidation of protective functions (Fortinet); the fourth generation (from 2007 to the present) - ensuring traffic security based on application and user identification (Palo Alto) and the introduction of new technologies by major vendors. [3]

Thus, the emergence of the term NGFW in its modern sense is attributed to the company Palo Alto Networks. Next-generation firewalls, she named her products, allowing strict control of individual users' access to applications and the Internet. In essence, NGFW integrates several functions on one platform — FW, IPS, and Web

Security Gateways. Customers have the ability to control the "input" and "exit" from the network. In NGFW, policies are set for applications, not just ports and IP addresses.

For today, the firewall market has grown, it is expected that the global market for next-generation firewalls will grow to $ 4.69 billion. By 2024, reaching ~ 12% of CAGR between 2017 and 2024 (Figure 1). [2]

Fig. 1 Firewall Market Growth Forecast

Next-Generation Firewall provides security services such as firewall, intrusion prevention and application control. Companies such as Cisco Systems, WatchGurad and others offer organizations a wide range of enterprise-class services and best-in-class network security services. The study shows that the next generation firewall is growing, as security threats are combating the types of threats that drive the market in North American regions. Palo Alto offers mobile security protection enhanced by mobile-based security. Whereas, some companies, such as Fortinet, FortiGate, and others, offer a high-performance network security device that adds intrusion protection, application control, and malware protection. [4]

Research

In 2011 Gartner introduced the Next Generation Firewall (NGFW) Enterprise Firewall Definition: “Next-Generation Firewalls (NGFWs) are bringing intelligence from outside the firewall. An NGFW should not be confused with a network of intrusion prevention systems (IPSs), which includes a firewall, or a firewall and IPS.”

According to Gartner forecasts by 2020. Enterprise-class virtualized firewalls will take up to 10% of the market compared to 5% currently. By the end of 2020. 25% of the sold firewalls will include the integration of cloud-based security brokers to connect to cloud services (Cloud Access Security Broker, CASB), integrated by the appropriate API. By 2020 50% of new firewall installations will use the outgoing TLS inspection, compared with less than 10% currently. According to Gartner, the Enterprise Firewall market consists mainly of enterprise network security solutions (Enterprise Networks). Products included in these solutions can be deployed as a single firewall, as well as larger and more complex scenarios, including branch networks, multi-layer demilitarized zones (Multitiered

DMZs), in traditional deployment scenarios in the form of a “large” firewall in the data center, and include the use of virtual firewalls in the data center. Customers should also have the ability to deploy solutions within Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure public cloud infrastructures, and the vendor should have Google Cloud support over the next 12 months on its roadmap. Products should be able to be managed using highly scalable (and granular) management tools, have an advanced reporting system, and also have a wide range of solutions for the network perimeter, data center, branch network and deployment in the virtualization infrastructure and public cloud. All manufacturers in this market segment should support the subtle definition and control of applications and users. [5] The Next Generation Firewall functionality is no longer an advantage, but a necessity. So Gartner strikes out the term invented by her, since this functionality is considered to be quite ordinary and absolutely necessary in the Enterprise Firewall market. In essence, Gartner considers NGFW and Enterprise Firewall synonymous. Manufacturers operating in this market focus on and build sales strategies and technical support for large companies (Enterprises), and the functionality they develop is also focused on solving problems of large companies (Enterprise).[6]

Gartner claims that, according to its research, NGFW is gradually continuing the trend to replace stand-alone IPS devices at the network perimeter, although some customers state that they will continue to use Next Generation IPS specialized devices (NGIPS), adhering to the Best of Breed strategy. Many corporate customers are interested in Malware's cloud-based discovery solutions as a cheaper alternative to separately installed sandboxing solutions.

Unlike the UTM market, the corporate firewall market does not imply that NGFW solutions should contain all the functionality to protect the network. Instead, Gartner sees corporate firewalls need specialization specifically for NGFW functionality. For example, branch office firewalls of the Enterprise class require support for a high degree of granularity of blocking network traffic, which should go in the product database, an integrated service approach to handling network traffic is required, product management should be highly integrated, and not look like a made-up compilation of different engines in one product. The level of protection and ease of configuration of enterprise-class firewalls for branch networks should not be inferior to head-office solutions. In 2017 Gartner pays special attention to solutions to ensure that TLS sessions are terminated to ensure that outbound traffic is scanned for threats, such as malicious code downloads, and botnet management. In some ways, the ability to check outgoing TLS traffic brings the NGFW closer to DLP solutions in a lightweight version, since the decryption and subsequent inspection of outgoing TLS traffic makes sure that sensitive data is not sent out. However, some customers using this feature may notice significant performance degradation when this feature is activated due to the high cost of TLS decryption. Some progressive customers are planning, and some are already using the opportunities provided by the software-defined network paradigm (Software Defined Networking, SDN), and use the micro-segmentation capabilities in virtualized data center. Such customers look at manufacturers with support for various SDN solutions, as well as their plans for further development in the direction of SDN. Solution makers include more and more automated approaches to orchestrating gateway policies to provide flexibility and business benefits that the SDN paradigm promises. [7]

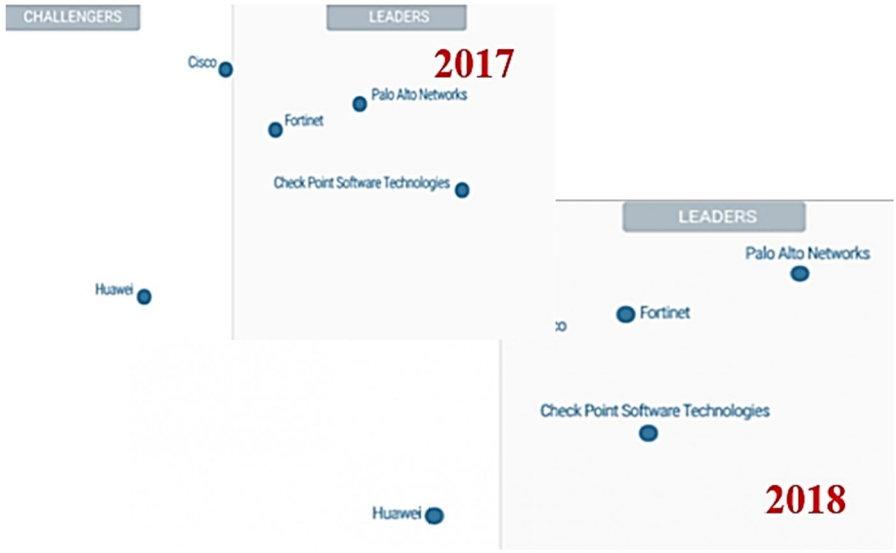


Fig. 2 Gartner Magic Quadrant for the corporate network firewall

According to the Gartner Magic Quadrant for the corporate network firewall (Figure 2) from 2017 to 2018, such companies as:

- Cisco
- Palo Alto
- Fortinet
- Check Point. [8]

And for unified threat management (UTM), the sector of leaders unchanged from 2015 is Fortinet, Check Point and Sophos. Gartner defines Unified Threat Management (UTM) as small-to-medium business (SMB) multi-functional network security products (<1000 employees). [9]

According to Gartner, the market for firewalls until 2020. will remain in approximately the same condition as it is now. In 2022 according to these forecasts, Firewall as a Service (FWaaS) class solutions, i.e., cloud-based firewalls where client traffic will be tunneled, will begin to be widely used in SMB, and the share of new installations in the SMB market will be more than 50% compared to the current share of 10%. It is also assumed that 2022. 25% of users of the SMB segment will use their firewall as a monitoring tool and an intermediate broker to ensure inventory and control the use of SaaS resources, as a tool for managing mobile devices or as a means of ensuring security policies on end-user devices (currently less than 2% of users use this functionality on the firewalls). FWaaS solutions will also be more popular for distributed branch offices, this solution will use 10% of new installations compared to less than 1% today. Since UTM solutions are aimed at relatively small companies (by the standards of Gartner), it is clear that having received all the functionality from one box, the end customer will somehow be content with compromises in terms of performance, network security and functionality, however, for such customers as well it is important that the solution is easily managed (control via the browser as an example), the administrator of the solution can be trained

faster due to simplified management, so that the solution contains built-in Means of at least basic reporting, for some customers it is also important to have localized software and documentation. [10]

Criteria for choosing equipment for the branch:

• equipment of the same vendor that is used at the head office, that is, Low End Enterprise-class equipment, is selected for the branches, as the customer needs to be sure of ensuring equipment compatibility, and in addition, such customers often use a single management console to ensure the manageability of the branch network (where there may not be specialists of the corresponding profile) from the head office.

• economic component, the corporate customer may receive additional discounts for the "volume" from manufacturers of gateway solutions, including solutions for the branch network.

For these reasons, Gartner considers solutions for distributed branch offices of Enterprise customers in the squares of solutions for the Enterprise segment (NGFW / Enterprise Firewall, IPS, WAF, etc.). [10]

Separately, Gartner allocates customers with a distributed network of highly autonomous offices (a typical example is a retail network where the total number of employees may be more than 1,000), which, like a typical SMB customer, has fairly limited budgets, a very large number of remote sites and usually a small IT / IB staff. Some UTM manufacturers even specifically focus on solutions for such customers more than traditional SMB. This is in contrast to the UTM device, which is suitable for small or medium business (SMB), but not for the rest of the corporate market. [11], [13]

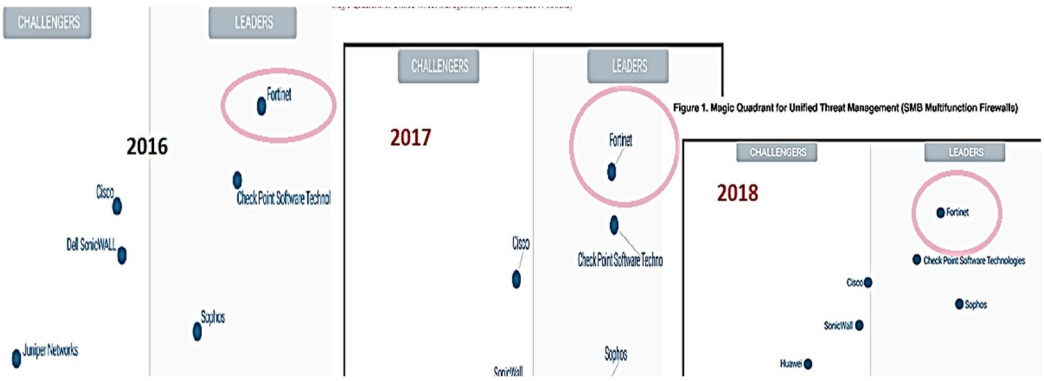


Fig. 3 Gartner Magic Quadrant for unified threat management

Fortinet has been on the leader's quadrant for 7 consecutive years since 2009. It is a representative of the leaders of the UTM market, a frequent guest on SMB short lists, and has a strong position in terms of functionality / price / performance, which helps it to be a frequent choice of UTM solution. In a report by IDC (International Data Corporation - an international research and consulting company) Fortinet climbed to second place in terms of total revenue from sales of firewalls, UTM solutions and the creation of VPN networks. At the same time, for the sixth year in a row, the company ranks first in the world in terms of supply of security devices; data shows continued demand for Fortinet security solutions (Figure4).

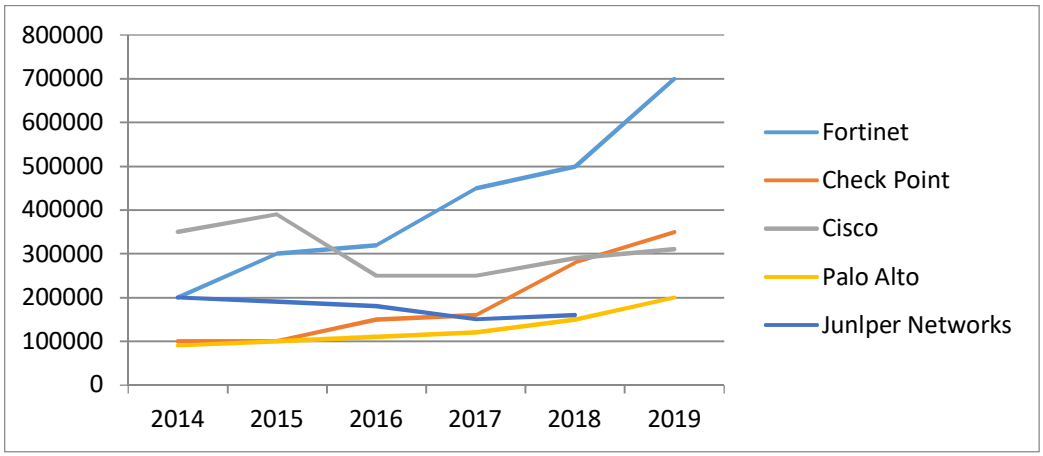


Fig. 4 The scope of supply of security devices

According to the United States Patent and Trademark Office in the industry of innovation, you can see in the diagram that with a significant margin of 548 patents, Fortinet is in the lead (Figure 5). [12]

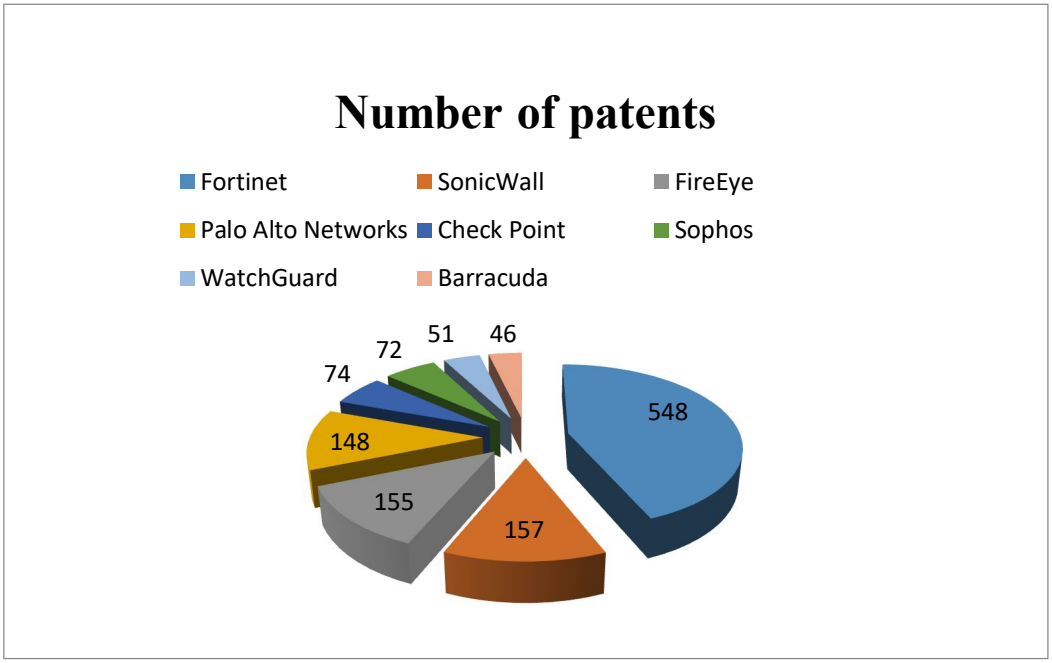


Fig. 5 US Patent and Trademark Data in the Innovation Industry

NSS Labs, Inc. - an independent organization dedicated to the research and testing of security solutions. He regularly evaluates firewalls, integrated threat management solutions, anti-malware, encryption, firewalls for web applications and other technologies. The real-world testing methodology developed by this company is today the only one suitable for evaluating protection systems against modern Internet threats. NSS Labs tests

are considered the most stringent in the industry. Compare NSS Labs NGFW Security Value Map Report 2016 to 2018 (Figure 6). [13]

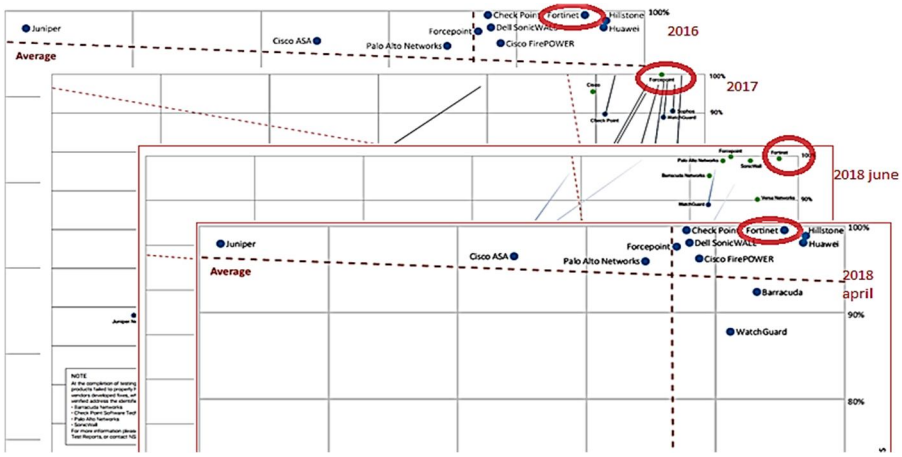


Fig. 6 Map of NGFW security values from 2016 to 2018

According to the NGFW safety value map, from 2016 to 2018 Fortinet is a leader among companies such as: Barracuda Networks

- Check Point Software Technologies
- Cisco
- Cyberoam
- Dell SonicWALL SuperMassive
- Forcepoint Stonesoft Next-Generation Firewall 1402 v5.8.5
- Fortinet
- Hillstone Networks
- Huawei Technologies
- Juniper Networks
- Palo Alto Networks
- WatchGuard Technologies

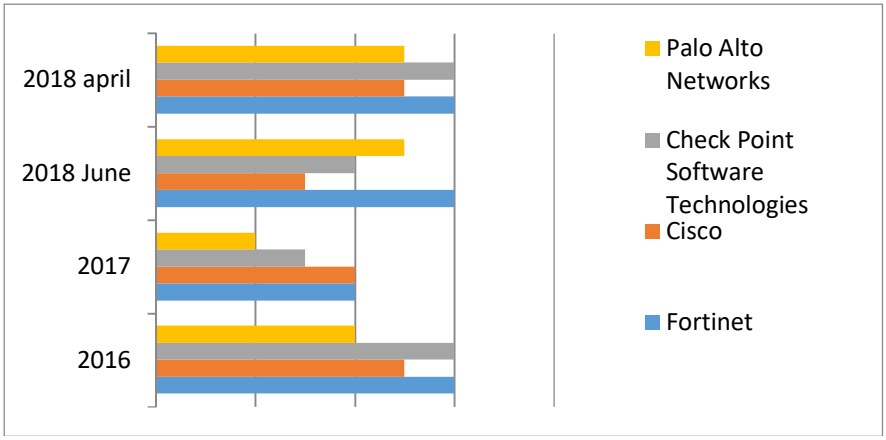


Fig. 7 NSS Labs NGFW Safety Value Map Report 2016 to 2018 among the top positions

Looking at Fortinet's 8-year summary of NSS Labs group test scores (Figure 8), we see a pattern of consistent improvement and superiority, a growing list of "recommended" ratings. [14]

Product	2011/12	2013	2014	2015	2016	2017	2018
NGFW	Neutral	Recommended	Recommended		Recommended	Recommended	Recommended
Data Center Security Gateway						Recommended	Recommended
Data Center IPS			Neutral		Recommended		Recommended
NGIPS				Recommended	Retested & Passed	Recommended	Recommended
Breach Detection			Recommended	Recommended	Recommended	Recommended	Recommended
Breach Prevention						Recommended	
Web Application Firewall			Recommended			Recommended	
Adv. Endpoint Protection						Recommended	Recommended
DDoS					Neutral		
SD-WAN							Recommended

Fig. 8 Fortinet rating for NSS Labs group tests

Conclusion

Analyzing the above data, it should be emphasized that the most frequently selected vendor in short lists for both regular SMB and a distributed network of autonomous offices is Fortinet. The flagship product is Fortigate, which occupied 75% of the company's revenue in 2016. The manufacturer also offers other products, such as wireless networks (FortiAP) and a specialized solution for protecting Web - Application Firewall (FortiWeb). A new integration solution from network security products is introduced under the name Fortinet Security Fabric. In the Fortigate line, models with the "E" index have recently appeared, which are equipped with a hardware platform based on the latest generation of dedicated Fortinet Security Processors (SPUs). Fortinet also acquired SIEM-maker AccelOps and rebranded its solution under the name FortiSIEM. Recent releases of the FortiOS operating system include various features that relate to the Fortinet Security Fabric solution with tighter integration between the solution components, including the FortiClient endpoint protection solution. The availability of FortiCASB security solution for SaaS was announced.

Thus, exploring the market for firewalls, using data from leading analytical companies, we conclude that among the leaders are representatives such as Check Point Software Technologies, Cisco, Fortinet, Palo Alto Networks. But taking into account all the indicators that customers value, namely price, performance and security, Fortinet, which is the representative of the leaders of the UTM market, a frequent visitor to SMB short lists, has a strong position in terms of both corporate and UTM solutions. Functionality, price, performance, which helps him to be a frequent choice of UTM solutions.

References

1. Hardware Security: A Hands-On Learning Approach Morgan Kaufmann; 1 edition, November 16, 2018 – P. 50-57.
2. ENTERPRISE FIREWALL MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST URL:https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-enterprise-firewall-market-industry
3. Анин Б. Защита компьютерной информации. Серия "Мастер". - СПб.: БХВ-Петербург, 2009г.
4. Скляров Д.В. Аппаратные ключи защиты // Искусство защиты и взлома информации. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009г.
5. Хорев П. Б. "Программно-аппаратная защита информации. Учебное пособие», издательство: ФОРУМ, 2009г.
6. Скляров Д.В. Аппаратные ключи защиты // Искусство защиты и взлома информации. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009г.
7. Gartner Magic Quadrant for Enterprise Firewall [Electronic resource] https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-5J7ZPYL&ct=181008&st=sb&elqTrackId=23f70889e9664194997cb4534889f383&elq=8a94c35a546545b09a60272d9079c0d0&elqaid=12239&elqat=1&elqCampaignId=
8. Gartner 2018 Magic Quadrant for UTM [Electronic resource]- https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-5H49KBA&ct=180924&st=sb&elqTrackId=87f3710133d64a78b97443325ab10867&elq=d327db8a706d44ec8f059dd68921604d&elqaid=12128&elqat=1&elqCampaignId=
Enterprise/Business Firewall Hardware Market [Electronic resource] - https://www.researchnester.com/reports/enterprisebusiness-firewall-hardware-market-global-historical-growth-2012-2016-future-outlook-2017-2024-demand-analysis-opportunity-evaluation/477
9. NEXT GENERATION FIREWALL MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST [Electronic resource] - https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/next-generation-firewall-market
10. Global market share held by security appliance vendors [Electronic resource] - https://www.statista.com/statistics/235347/global-security-appliance-revenue-market-share-by-vendors/
11. NEXT GENERATION FIREWALL COMPARATIVE REPORT [Electronic resource] - https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/analyst-reports/nss-labs-2018-ngfw-comparative-report-svm.pdf
12. UTM and Strong Regional Markets Drive Security Appliance Growth [Electronic resource] - https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44908719
13. Fortinet сегодня [Electronic resource] - https://senetsy.ru/upload/meetup-pro-network-2018/fortinet-about-2018-12.pdf
14. Performance Evaluation and Comparative Analysis of Network Firewalls[Electronic resource] - https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5738566/figures#figures
15. NEXT GENERATION FIREWALL [Electronic resource] - https://research.nsslabs.com/library/network-security/next-generation-firewall/

16. NEXT GENERATION FIREWALL NGFW 2018 COMPARATIVE REPORT [Electronic resource] - https://research.nsslabs.com/library/network-security/next-generation-firewall/ngfw-2018-comparative-report-performance/

17. INDEPENDENT VALIDATION OF FORTINET SOLUTIONS [Electronic resource] - Brochure-NSS-Lab-Independent-Validation.pdf

18. Межсетевые экраны: новое поколение[Electronic resource] - https://www.osp.ru/lan/2013/02/13034063/

19. IDC [Electronic resource] - https://www.computerworld.ru/news/IDC-mirovoy-rynok-apparatnyh-sredstv-bezopasnosti-prodolzhaet-uverenno-rasti

20. Reviews for Enterprise Network Firewalls [Electronic resource] Access mode: open. URL:https://www.gartner.com/reviews/market/enterprise-network-firewalls

21. Е. Баранова, А. Бабаш "Информационная безопасность и защита информации" 3-е изд., 2016 – Р. 40-50.

CONSTRUCTION OF FUNDAMENTAL SOLUTION SYSTEM FOR DYNAMIC POROELASTICITY PROBLEM USING LAPLACE-FOURIER TRANSFORM.

[1]Berdyshev A.S., [2]Blieva D.N.
berdyshev@mail.ru, dana.bliyeva@gmail.com
[1]Institute of Information and Computational Technologies of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Physics and Mathematics, Professor
[2]PhD student

Abstract. *In this paper, a two-dimensional dynamic problem for porous media saturated with liquid is reduced to system of ordinary differential equations using the Fourier-Laplace transform. A linearized model of Dorovsky V.N., where the medium is described by three elastic parameters, is taken as a basis. The fundamental system of solutions is constructed using Euler method.*

Keywords: *porous medium, equations of poroelasticity, Fourier-Laplace integral transform, acoustic waves.*

1. Introduction

The main goal of this work is to construct fundamental system of solutions for a two-dimensional problem of poroelasticity equations describing the wave propagation in a porous medium for the components of velocities in porous medium, stress, and pore pressure. Such a model is a realistic representation of a porous medium consisting of an elastically deformable matrix filled with a viscous liquid. This model explains the effects observed in the process of seismic studies of the properties of rocks in the presence of a pore liquid. Numerical modeling of the seismic wave propagation process in liquid-

saturated porous media has been developed in recent decades [3],[4],[8]-[12], due to the need to solve practical problems in various fields of geophysics, biomechanics and oil development. The Frenkel-Bio model is often used [1, 2] for the numerical simulation of such processes, where two longitudinal waves for a liquid and a solid frame are present along with one transverse wave in an elastic-porous saturated medium according to Biot's theory. Further, in 1981 V.N. Dorovsky [5]-[7] built the nonlinear mathematical model for porous media based on general first physical principles, which also describes three types of acoustic vibrations: two types of longitudinal and a transverse one. But unlike models of the Frenkel-Bio-linearized model, the Dorovsky model characterizes the medium using three elastic parameters [5]-[7]. These three elastic parameters are mutually uniquely determined using known values of porosity, velocities of acoustic waves, physical densities of the matrix and of the saturating liquid.

The work continues study started in previous papers [13], where Laplace transform was used to reduce the initial PDE system to elliptic system equations. The integral Fourier-Laplace transform for partial derivatives with respect to time and one of the spatial variables is used to solve time-dependent problems, such as seismic and electromagnetic modeling, thermodynamic problems, etc.

We apply such Fourier-Laplace transform for the two-dimensional dynamic problem and Euler method to construct fundamental system of solutions in the explicit form.

2. Statement of two-dimensional problem

The mathematical model for a two-dimensional dynamic problem can be formulated in the half-plane $x_2 > 0$ filled with porous media and saturated liquids having parameters characterizing each of them. It includes eight equations with eight unknown functions $u_1, u_2, v_1, v_2, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{22}, p$. Based on physical principals, including Momentum conservation laws for elastic medium and the liquid, the Hooke's law for solid matrix (elastic medium) and liquid, the propagation of seismic waves in these environments in the absence of energy loss is described by the initial-boundary values problems in terms of the velocities of the saturating liquid and the matrix, the liquid pressure, and the stress tensor [5, 7] as follows:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{1}{\rho_{0,s}}\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{1}{\rho_{0,s}}\frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_1} = F_1, \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{1}{\rho_{0,s}}\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{1}{\rho_{0,s}}\frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_2} = F_2, \tag{2.2}$$

$$\frac{\partial v_1}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_1} = F_1, \tag{2.3}$$

$$\frac{\partial v_2}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x_2} = F_2, \tag{2.4}$$

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial t} + 2\mu \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \left(\frac{\rho_{0l}}{\rho_0} K - \frac{2}{3}\mu \right) \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) - \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0} K \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right) = 0, \tag{2.5}$$

$$\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial t} + \mu \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) = 0, \tag{2.6}$$

$$\frac{\partial \sigma_{22}}{\partial t} + 2\mu \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \left(\frac{\rho_{0l}}{\rho_0} K - \frac{2}{3}\mu \right) \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) - \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0} K \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right) = 0, \tag{2.7}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} - \left(K - \alpha \rho_0 \rho_{0,s} \right) \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) + \alpha \rho_0 \rho_{0,l} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right) = 0, \tag{2.8}$$

$$u_i\big|_{t=0} = v_i\big|_{t=0} = \sigma_{ik}\big|_{t=0} = p\big|_{t=o} = 0, \tag{2.9}$$

$$\sigma_{22} + p\big|_{x_2=0} = \sigma_{12}\big|_{x_2=0} = \frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} p \Big|_{x_2=0} = 0. \tag{2.10}$$

3. Reduction of PDE system problem to ODE system problem

To reduce the initial problem of partial differential equations (PDE) system to the system of ordinary differential equations (ODE) problem we apply to the system (2.1)-(2.10) a Fourier-Laplace transform with respect to the time variable t and the spatial variable x_1 of the following form:

$$\hat{f}(s, k_1, \mathrm{x}_2) = \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} f(t, x_1, x_2) e^{-st - ik_1 x_1} dx_1 dt,$$

where $f(t, x_1, x_2)$ is an integrable function with respect to variables t and x_1.

Then, the system (2.1)-(2.10) can be reduced to the system of six ODEs, where all the partial derivatives with respect to spatial variable x_1 and partial derivatives with respect to time variable t taking into account initial conditions (2.9) will be transformed into the image function with parameters s and k_1 instead of variables t and x_1.

Then, by applying Fourier-Laplace transform with respect to the time variable t and the spatial variable x_1 to all the partial derivatives and functions in the system (3.1) - (3.8) we obtain a system of 6 ODEs, while the PDE (2.3), which contains only partial derivatives with respect to the time variable t and the spatial variable x_1 reduces to the interrelation without any derivatives as follows:

$$s\hat{v}_1 + \frac{1}{\rho_0} ik_1 \hat{p} = \hat{F}_1,$$

where we can express $\hat{v}_1 = -\frac{1}{s\rho_0} ik_1 \hat{p} + \frac{\hat{F}_1}{s}$ and substitute this expression to PDEs (2.5), (2.7), (2.8), which allows us to exclude the unknown function $\hat{v}_1$ from the system.

Further, we also can exclude the unknown function $\hat{\sigma}_{11}$ from ODEs (2.1) and (2.4), which does not have any derivatives in the system, and as result of simple algebraic transformations we can get a system of six ODEs with six unknown functions. We also rearrange the order of ODEs in the system so, that the derivatives of unknown functions are placed in the same order as the unknown functions in the vector $\hat{w} = \hat{w}(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{v}_2, \hat{\sigma}_{12}, \hat{\sigma}_{22}, \hat{p})$, i.e.:

$$\mu \frac{\partial \hat{u}_1}{\partial x_2} + \mu i k_1 \hat{u}_2 + s\hat{\sigma}_{12} = 0, \tag{3.1}$$

$$\left(\frac{4}{3}\mu + \frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} K\right) \frac{\partial \hat{u}_2}{\partial x_2} - \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0} K \frac{\partial \hat{v}_2}{\partial x_2} + \left(\frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} K - \frac{2}{3}\mu\right) i k_1 \hat{u}_1 + \\ + s\hat{\sigma}_{22} + \frac{\rho_{0,s}}{s\rho_0^2} K (ik_1)^2 \hat{p} = \frac{\rho_{0,s}}{s\rho_0} K i k_1 \hat{F}_1, \tag{3.2}$$

$$\left(K - \alpha\rho_0\rho_{0,s}\right) \frac{\partial \hat{u}_2}{\partial x_2} - \alpha\rho_0\rho_{0,s} \frac{\partial \hat{v}_2}{\partial x_2} + \left(K - \alpha\rho_0\rho_{0,s}\right) i k_1 \hat{u}_1 + \\ + \left(\frac{\alpha\rho_{0,s}(ik_1)^2}{s} - s\right) \hat{p} = \frac{\alpha}{s} \rho_0 \rho_{0,s} i k_1 \hat{F}_1, \tag{3.3}$$

$$\left(\frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} K - \frac{2}{3}\mu\right) \frac{1}{s} \frac{\partial \hat{u}_2}{\partial x_2} - \frac{\rho_{0,s}}{s\rho_0} K \frac{\partial \hat{v}_2}{\partial x_2} - \frac{1}{ik_1} \frac{\partial \hat{\sigma}_{12}}{\partial x_2} + \left(\frac{4}{3}\mu + \frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} K - \frac{\rho_{0,s} s^2}{(ik_1)^2}\right) \frac{ik_1}{s} \hat{u}_1 + \\ + \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0} \left(K (ik_1)^2 \frac{1}{s^2 \rho_0} - 1\right) \hat{p} = \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0} \left(\frac{1}{s^2} K i k_1 - \frac{\rho_0}{ik_1}\right) \hat{F}_1, \tag{3.4}$$

$$\frac{1}{\rho_{0,s}} \frac{\partial \hat{\sigma}_{22}}{\partial x_2} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \hat{p}}{\partial x_2} + s\hat{u}_2 + \frac{ik_1}{\rho_{0,s}} \hat{\sigma}_{21} = \hat{F}_2, \tag{3.5}$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \hat{p}}{\partial x_2} + s\hat{v}_2 = \hat{F}_2, \tag{3.6}$$

$$\hat{\sigma}_{22} + \hat{p}\big|_{x_2=0} = \hat{\sigma}_{12}\big|_{x_2=0} = \frac{\rho_{0,l}}{\rho_0} \hat{p}\Big|_{x_2=0} = 0. \tag{3.7}$$

4. Reduction of the ODEs system to the normal form

To construct the fundamental system of solutions we need to express the system (3.1) - (3.6) in the following vector form:

$$A_1\hat{w}' + A_2\hat{w} = A_3, \tag{4.1}$$

where $\hat{w}$ - is a vector $\hat{w} = \hat{w}(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{v}_2, \hat{\sigma}_{12}, \hat{\sigma}_{22}, \hat{p})$.

Then (4.1) can be re-written in the normal form as follows:

$$\hat{w}' = \tilde{A}\hat{w} + \tilde{B}. \tag{4.2}$$

The inhomogeneous system (4.2) is resolvable, if $\det \tilde{A} \neq 0$, where $\tilde{A} = -A_1^{-1}A_2$ and $\tilde{B} = -A_1^{-1}A_3$. In order to find a solution in the explicit form we find the inverse matrix A_1^{-1} using Jordan-Gauss method. The matrix A_1^{-1} has the following form:

$$(A_1)^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T} & -\frac{K}{\alpha\rho_0{}^2 T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K-L}{LT} & -\frac{1}{L} + \frac{\frac{K}{\alpha\rho_0{}^2}(\mathrm{L}-K)}{LT} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{ik_1}{s}(1-\frac{2\mu}{T}) & \frac{2\mu K i k_1}{\alpha\rho_0{}^2 sT} & -ik_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_{0,s} & -\rho_{0,s} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_0 \end{pmatrix},$$

where $T \equiv \frac{4}{3}\mu + K - \frac{K^2}{\alpha\rho_0{}^2}$, $L = \alpha\rho_0\rho_{0,s}$. Then the matrix $\tilde{A} = (A_1)^{-1}A_2$ can be calculated in the following form:

$$\tilde{A} = (A_1)^{-1}A_2 = \begin{pmatrix} 0 & ik_1 & 0 & \frac{s}{\mu} & 0 & 0 \\ ik_1(1-\frac{2\mu}{T}) & 0 & 0 & 0 & \frac{s}{T} & \frac{Ks}{\alpha\rho_0^2 T} \\ \frac{-2\mu(K-L)ik_1}{LT} & 0 & 0 & 0 & \frac{s(K-L)}{LT} & (\frac{(K-L)K}{\alpha\rho_0^2 T}+1)\frac{s}{L} - \frac{(ik_1)^2}{s\rho_0} \\ s\rho_{0,s} + \frac{4\mu(ik_1)^2}{s}(\frac{\mu}{T}-1) & 0 & 0 & 0 & ik_1(1-\frac{2\mu}{T}) & \frac{ik_1}{\rho_0}(\rho_{0,s} - \frac{2\mu K}{\alpha\rho_0 T}) \\ 0 & s\rho_{0,s} & -s\rho_{0,s} & ik_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s\rho_0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

It can be shown that the right-hand matrix $\tilde{B} = (A_1)^{-1} A_3$ takes the following form:

$$\tilde{B} = (A_1)^{-1} A_3 = \begin{pmatrix} \frac{1}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T} & -\frac{K}{\alpha\rho_0{}^2 T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K-L}{LT} & -\frac{1}{L} + \frac{\frac{K}{\alpha\rho_0{}^2}(L-K)}{LT} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{ik_1}{s}(1-\frac{2\mu}{T}) & \frac{2\mu K i k_1}{\alpha\rho_0{}^2 sT} & -ik_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_{0,s} & -\rho_{0,s} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \rho_0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\rho_{0,s}}{\rho_0}\frac{Kik_1}{s}\hat{F}_1 \\ \frac{\alpha}{s}\rho_0\rho_{0,s}ik_1\hat{F}_1 \\ (\frac{\rho_{0,s}}{s^2\rho_0}Kik_1 - \frac{\rho_{0,s}}{ik_1})\hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \hat{F}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{ik_1\hat{F}_1}{s} \\ \rho_{0,s}\hat{F}_1 \\ 0 \\ \rho_0 F_2 \end{pmatrix}.$$

Then, the previous inhomogeneous system of six equations (3.1) - (3.6) can be further considered in the normal form of linear inhomogeneous system with constant coefficients with six unknown functions $\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{v}_2, \hat{\sigma}_{12}, \hat{\sigma}_{22}, \hat{p}$. Let's show further how the fundamental solution of the problem is constructed.

Finding fundamental solution of the system

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d\hat{u}_1}{dx_2} + ik_1\hat{u}_2 + \frac{s}{\mu}\hat{\sigma}_{12} = 0 \\ &\frac{d\hat{u}_2}{dx_2} + ik_1(1-\frac{2\mu}{T})\hat{u}_1 + \frac{s}{T}\hat{\sigma}_{22} + \frac{Ks}{\alpha\rho_0{}^2 T}\hat{p} = 0 \\ &\frac{d\hat{v}_2}{dx_2} - \frac{2\mu(K-L)ik_1}{LT}\hat{u}_1 + \frac{s(K-L)}{LT}\hat{\sigma}_{22} + ((\frac{(K-L)K}{\alpha\rho_0{}^2 T}+1)\frac{s}{L} - \frac{(ik_1)^2}{s\rho_0})\hat{p} = -ik_1\hat{F}_1 \\ &\frac{d\hat{\sigma}_{12}}{dx_2} + (s\rho_{0,s} + \frac{4\mu(ik_1)^2}{s}(\frac{\mu}{T}-1))\hat{u}_1 + ik_1(1-\frac{2\mu}{T})\hat{\sigma}_{22} + \frac{ik_1}{\rho_0}(\frac{2\mu K}{\alpha\rho_0 T} - \rho_{0,s})\hat{p} = \rho_{0,s}\hat{F}_1 \\ &\frac{d\hat{\sigma}_{22}}{dx_2} + s\rho_{0,s}\hat{u}_2 - s\rho_{0,s}\hat{v}_2 + ik_1\hat{\sigma}_{12} = 0 \\ &\frac{d\hat{p}}{dx_2} + s\rho_{0,s}\hat{v}_2 = \rho_0\hat{F}_2 \end{aligned}\right\}, \qquad (5.1)$$

which has a compact vector form:

$$\frac{d\hat{w}}{dx_2} + \sum_{i=1}^{6} a_{ki}\hat{w}_i = \tilde{B}, \qquad (5.1^*)$$

where k=(1, 2,…, 6), $\hat{w} = \hat{w}(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{v}_2, \hat{\sigma}_{12}, \hat{\sigma}_{22}, \hat{p})$ - vector with component functions $\hat{w}_1 = \hat{u}_1, \hat{w}_2 = \hat{u}_2, \hat{w}_3 = \hat{v}_2, \hat{w}_4 = \hat{\sigma}_{12}, \hat{w}_5 = \hat{\sigma}_{22}, \hat{w}_5 = \hat{p}$.

First, we find a solution of the homogeneous system of the form:

$$\frac{d\hat{w}}{dx_2} + \sum_{i=1}^{6} a_{ki} w_i = 0. \qquad (5.2)$$

By using Euler method we find a fundamental system of solutions of homogeneous system in the following form:

$$\hat{u}_1 = \gamma_1 e^{\tau x_1}, \hat{u}_2 = \gamma_2 e^{\tau x_1}, \hat{v}_2 = \gamma_3 e^{\tau x_1}, \hat{\sigma}_{12} = \gamma_4 e^{\tau x_1}, \hat{\sigma}_{22} = \gamma_5 e^{\tau x_1}, \hat{p} = \gamma_6 e^{\tau x_1}, \qquad (5.3)$$

where $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \tau$ are constants, and $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ are not equal to zero simultaneously, since our goal is to construct a fundamental system of solutions, which can't contain trivial solution. Then by substituting (7.3) into (7.2) and excluding $e^{\tau x_1}$ from all parts, we get a system

$$\left.\begin{aligned}
&(a_{11}+\tau)\gamma_1 + a_{12}\gamma_2 + a_{13}\gamma_3 + a_{14}\gamma_4 + a_{15}\gamma_5 + a_{16}\gamma_6 = 0,\\
&a_{21}\gamma_1 + (a_{22}+\tau)\gamma_2 + a_{23}\gamma_3 + a_{24}\gamma_4 + a_{25}\gamma_5 + a_{26}\gamma_6 = 0,\\
&a_{31}\gamma_1 + a_{32}\gamma_2 + (a_{34}+\tau)\gamma_3 + a_{34}\gamma_4 + a_{35}\gamma_5 + a_{36}\gamma_6 = 0,\\
&a_{41}\gamma_1 + a_{42}\gamma_2 + a_{43}\gamma_3 + (a_{44}+\tau)\gamma_4 + a_{45}\gamma_5 + a_{46}\gamma_6 = 0,\\
&a_{51}\gamma_1 + a_{52}\gamma_2 + a_{53}\gamma_3 + a_{54}\gamma_4 + (a_{55}+\tau)\gamma_5 + a_{56}\gamma_6 = 0,\\
&a_{61}\gamma_1 + a_{62}\gamma_2 + a_{63}\gamma_3 + a_{64}\gamma_4 + a_{65}\gamma_5 + (a_{66}+\tau)\gamma_6 = 0.
\end{aligned}\right\}. \qquad (5.4)$$

By constructing a characteristic equation $\left|\tilde{A}+\tau E\right| = 0$, we can find eigenvalues $\tau$of the matrix $\tilde{A}$. Since all diagonal elements of the matrix $\tilde{A}$ are equal to zero, we first bring it to the triangular form by elementary algebraic transformations.

Then, eigenvalues of the matrix can be easily found from the characteristic equation in the matrix form

$$\det\begin{pmatrix}
ik_1+\tau & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & -ik_1+\tau & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & s\rho_0+\tau & 0 & 0 & 0\\
s\rho_{0,s} & 0 & -s\rho_{0,s} & i(k_1+\frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu})+\tau & 0 & 0\\
0 & E & 0 & 0 & N+\tau & 0\\
0 & s\rho_{0,s}+\frac{4\mu k_1^{\,2}}{s}(1-\frac{\mu}{T}) & 0 & 0 & \Phi & -i(k_1+\frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu})+\tau
\end{pmatrix} = 0,$$

where two real eigenvalues and two pairs of mutually adjoin complex values with Re=0 have the following form

$$\tau_1 = -s\rho_0,$$

$$\tau_2 = -N = -\frac{1}{\left(K-\frac{2}{3}\mu-\frac{K^2}{\alpha\rho_0^{\,2}}\right)}\left[\frac{s(K-\alpha\rho_0\rho_{0s})}{\alpha\rho_0\rho_{0s}} + \frac{(s^2\rho_{0,s}+k_1^{\,2}T)(s^2\rho_0+k_1^{\,2}\alpha\rho_0\rho_{0s})}{k_1^{\,2}(K-\alpha\rho_0\rho_{0s})s\rho_{0s}}\right],$$

$$\tau_{3,4} = \pm ik_1, \quad \tau_{5,6} = \pm i\left(k_1 + \frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu}\right),$$

where $T \equiv \frac{4}{3}\mu + K - \frac{K^2}{\alpha\rho_0{}^2}$.

By substituting each of the eigenvalues into system (5.4), we find coefficiens $\gamma i_1^{(i)}, \gamma_2^{(i)}, \gamma_3^{(i)}, \gamma_4^{(i)}, \gamma_5^{(i)}, \gamma_6^{(i)}$.

5. Fundamental system of solutions of homogeneous system

Then, by multiplying each of the six constructed particular solutions to the coefficients C_i for $i = 1, 2, 3..., 6$ and by excluding all zero elements of particular solutions we can write general solution of the system (6.2) in the following form:

$$u_1 = w_1 = C_4\gamma_1 e^{-ik_1x_2}, \; u_2 = w_2 = C_3 \cdot \gamma_2 e^{ik_1x_2}, \; v_2 = w_3 = C_1 \cdot \gamma_3 e^{-s\rho_0x_2},$$

$$\sigma_{12} = w_4 = C_1 \cdot \frac{s\rho_{0,s}}{i\left(\frac{k_1{}^2\mu + s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu}\right) - s\rho_0}\gamma_3 e^{-s\rho_0x_2} - C_4 \cdot \frac{k_1\mu}{is}\gamma_1 e^{-ik_1x_2} + C_6 \cdot \gamma_4 e^{-i\left(k_1 + \frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu}\right)x_2},$$

$$\sigma_{22} = w_5 = C_2 \cdot \gamma_5 e^{-Nx_2} - C_3 \cdot \frac{E}{(N + ik_1)}e^{ik_1x_2},$$

$$p = w_6 = C_2 \cdot \frac{\Phi}{-i(k_1 + \frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu}) - N}\gamma_5 e^{-Nx_2} + C_3 \cdot \frac{(s\rho_{0,s} + \frac{4\mu k_1^2}{s}(1 - \frac{\mu}{T}) - \frac{\Phi E}{(N + ik_1)})}{-i(k_1 + \frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu}) + ik_1}\gamma_2 e^{ik_1x_2} +$$

$$+ C_5 \cdot \gamma_6 e^{i(k_1 + \frac{s^2\rho_{0,s}}{k_1\mu})x_2}.$$

From these six equations we can determine unknown six constants C_i $i = 1, 2, 3..., 6$, which satisfy the boundary conditions (3.8). In further research we find solution of inhomogeneous system.

References

1. Frenkel I.I. On theory of seismic and seismoelectrical phenomena in wet soil // Izvestia AN SSSR. Ser.geogr. and geophys. – 1944.-t.8, No.4 –p133-150 (In Russian)

2. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solids // J. Acoustic. Soc. Amer., - 1956, V. 28. P. 168 – 186.

3. Abdumauvlen Berdyshev, Kholmatzhon Imomnazarov, Jian-Gang Tang, A. Mikhailov //The Laguerre spectral method as applied to numerical solution of a two−dimensional linear dynamic seismic problem for porous media. //Open Comput.Sci. – 2016, 6, p208-212

4. Sorokin K.E., Imomnazarov Kh.Kh. Numerical solution of linear two-dimensional dynamic problem for porous medium //Journal of Siberian Federal University, Mathematics&Physics, -2010, 3(2), 256–261 p. (In Russian)

5. Dorovskiy V.N., Perepechko Y.V., Romenskiy E. I., Wave processes in saturated elastically deformable medium //Physics of combustion and explosion,-1993, No 1, 100–111p (In Russian)

6. Blokhin A. M., Dorovsky V. N. Mathematical Modelling in the Theory of Multivelocity Continuum //Nova Sci., New York, -1995, MathSciNet

7. Dorovsky V. N. Imomnazarov Kh. Kh. A Mathematical model for the movement of a conducting liquid through a conducting porous medium //Mathl. Comput. Modelling, Printed in Great Britain, - 1994, Vol. 20, No. 7, pp. 91-97.

8. Imomnazarov Kh.Kh., Imomnazarov Sh.Kh., Mamatqulov M.M., Chernykh E.G. The fundamental solution of the stationary two-velocity hydrodynamics equation with one pressure. Bull. Of the Novosibirsk Computing Center, series: Mathematical Modeling in Geophysics, Novosibirsk, 2014, № 17, pp.5-12.

9. Meirmanov A. Mathematical Models for Poroelastic Flows. — Berlin: Springer, 2014. — Vol. 1 of Atlantis Studies in Differential Equations.

10. Berdyshev A.S., Imomnazarov Kh.Kh. Direct and inverse problems for the system of equations of the theory of the two-velocity continuum MES RK, Abai KazNPU, IICT. –Almaty, 2017. -153p. (In Russian)

11. Berdyshev A.S., Imomnazarov Kh.Kh., Kholmuradov A.E. Optimizatsionnyi metod reshenia odnoi odnomrnoi obratnoi zadachi porouprugosti //Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestia. Tom 12. 2015. –P284-293 http://semr.math.nsc.ru/v12/html (Scopus)

12. Berdyshev A.S., Imomnazarov Kh.Kh., Jian-Gang Tang, Tuchieva S. The symmetric form of poroelasticity dynamic equations in terms of velocities, stresses, and pressure. //Open Engineering Formerly Central European Journal of Engineering. Volume 6(2016), Issue 1. –P322-325. (Scopus)

13. Berdyshev A.S., Bliyeva D.N. Application of Laplace transform for reduction of poroelastisity equations system to elliptic system of equations //Materialy nauchnoi konferencii IICT MON RK «Modern problems of Computer Science and Computational Technologies", 2-5 June 2018г, Almaty, Kazakhstan, P80-81 (In Russian)

MODIFICATION OF THE QUASILINEAR CONTROL SYSTEM OF BIOMEDICINE

Dyusembina Z.K.
zdyusembina@mail.ru
Eurasian national university named after L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

Abstract. *The stability of the respiratory chemostat on a finite time interval was studied and the task of stabilizing the biomedical system of the respiratory chemostat for*

linear and quasilinear control systems was solved. The study of such regulatory processes in the body plays an important role in the development of technical life support systems, and this applies not only to the voltage regulating system of the of carbon dioxide and oxygen (the "respiratory chemostat" system), but also to a number of other vital systems. First of all, this refers to the "cardiovascular chemostat" system, which, as a biological self-regulation system, has the task of washing the tissue reservoir with fresh blood at such a rate as to maintain the voltage of carbon dioxide and oxygen in tissues at normal or near levels. This is a complex hydrodynamic system of biological self-regulation, the numerous parameters of which are under continuous influence of various kinds of control signals, which in turn depend on external conditions relative to the organism and perturbations. The regulating regime of this system is continuously subjected to sharply and suddenly changing external influences, which have an extreme character.

Keywords: *Respiratory chemostat, control system, biological system, finite interval, stability*

The problem of the stability of the medical and biological system is one of the main problems of system analysis, mathematical ecology and biomedicine. The task of synthesizing vector control from a given class for a managed medical-biological system and population dynamics of a community with self-limiting by mathematical models is represented in the form of quasilinear equations. The models of biomedicine are considered and the quasi-linear control system of the respiratory chemostat on a finite time interval is investigated.

Changing $F_{CO_2}^I$, we act on an isolated controlled system, it behaves like a simple linear system with constant coefficients. Concentration of $CO_2(F_{CO_2}^I)$ functions as a direct driving force. When the respiratory center affects the controlled system, this effect is manifested through ventilation $\dot{V}_A$. When considering the behavior of the chemostat in the steady state, we assumed for convenience that the input signals of the control system are determined by the levels of pCO_2,$[H^+]$ and pO_2 in arterial blood [1].

Receptors are really located on the path of arterial blood, but proceed only from the fact that in each particular considered steady situation the values of these parameters are closely related to their effective values in those places where the real receptors are located.

Let us consider the time course of pulmonary ventilation and changes of pCO_2 in arterial blood with a sudden change in the concentration of carbon dioxide in the inspired air.

To simplify the analysis, we introduce a number of additional assumptions: 1) the lungs are a reservoir of constant volume vented by a continuous gas stream with a dead space equal to zero, and with a uniform composition; 2) the respiratory coefficient (*RQ*) at each moment of time is equal to one; 3) transport delays in the transfer of blood are negligible; 4) the respiratory center and other tissues are a homogeneous reservoir, washed by a constant flow of blood; 5) arterial blood, venous blood and "tissues" are characterized by the same linearized absorption curve CO_2; 6) the partial pressures CO_2 in the exhaled air and in the alveolar air and the tension CO_2 in the arterial blood are always equal to each other, as well as the stresses CO_2 in the "tissues" and in the venous blood; 7) the

control system is a simple inertial-free (that is, does not contain dynamic elements) proportional regulator.

To obtain equations describing the dynamic behavior of the biomedical system, we use the same general principles of equilibrium and continuity, on which Newton's Laws of motion and Kirchhoff's laws for electric circuits are based. We start with the pulmonary or alveolar reservoir and write down the "continuity equation for carbon dioxide", which states that the rate of change in concentration of CO_2 in the alveolar gas $\dot{\theta}_A$ is equal to the quotient of dividing the difference between the rates of intake and washing out of carbon dioxide by the volume of the reservoir K_A [1]:

$$\dot{\theta}_A = \frac{1}{K_A}[\dot{V}_A F^I_{CO_2} + q_3 - q_1 - q_2] \tag{1}$$

Carbon dioxide enters the lungs with inhaled gas at a rate equal to the product of pulmonary ventilation by the concentration of $F^I_{CO_2}$ in the inspired air, and with venous blood at the rate q_3, and leaves the lungs with exhaled air at the rate q_1 and with arterial blood at the rate q_2. Next, we will write down another equation of continuity for the tissue reservoir: the rate of change in the concentration of carbon dioxide in the tissues ($\dot{\theta}_A$) is equal to the sum of the rates of formation of CO_2 during the exchange (MR) of CO_2 with arterial blood flow (q_2) and leaching of CO_2 with venous blood (q_3) divided by the volume of the tissue reservoir K_T:

$$\dot{\theta}_A = \frac{1}{K_T}[MR + q_2 - q_3]. \tag{2}$$

Let us write down three equilibrium equations.

The first of them reflects the equality of concentrations of carbon dioxide in the alveolar and exhaled air:

$$\theta_A = \frac{q_2}{\dot{V}_A}. \tag{3}$$

The second equation describes the equilibrium of concentrations of CO_2 in the alveolar air and in the arterial blood, taking into account the linearized CO_2 absorption curve:

$$\frac{q_2}{Q} = BA_S(\theta_A) + A_i, \tag{4}$$

where - Q minute volume of the heart, B - atmosphere pressure, A_S and A_i - respectively, the slope of the linear absorption curve and the ordinate of the point of its intersection with the ordinate axis.

The third equation expresses the equality of carbon dioxide concentrations in tissues and venous blood:

$$\theta_T = \frac{q_3}{Q}. \tag{5}$$

To study the behavior of an isolated controlled system, it is necessary to solve this system of equations. There are different ways for this, but in any case, we should, first of all, choose which of the five dependent variables is considered the output (or outputs) of the system and which of the nine independent variables ($\dot{V}_A, F^I_{CO_2}, MR, K_A, K_T, Q, B, A_S, A_i$) is considered to be the input (or inputs) of the system. We choose the variables θ_T and θ_A as the outputs of the system, and as the input - $F^I_{CO_2}(t)$. Thus, we assume that the variables $\dot{V}_A, MR, K_A, K_T, Q, B, A_S$ and A_i do not change with time. Combine the five obtained basic equations so as to get a differential equation with respect to one of the dependent variables, θ_T or θ_A. So, if we solve equation (3) relative to q_1, (4) - relative to q_2 and equation (5) – relative to q_3.

Substituting these values into equations (1) and (2), we obtain

$$\dot{\theta}_A = \frac{1}{K_A}[\dot{V}_A(F^I_{CO_2} - \theta_A) + Q(\theta_T - BA_S\theta_A - A_i)] \tag{6}$$

and

$$\dot{\theta}_A = \frac{1}{K_A}[MR - Q(\theta_T - BA_S\theta_A - A_i)]. \tag{7}$$

Solving equation (7) with respect to θ_A, we obtain

$$\theta_A = \frac{1}{QBA_S}(K_T\dot{\theta}_T - MR - QA_i + Q\theta_T)]. \tag{8}$$

The differentiation of (8) gives

$$\dot{\theta}_A = \frac{1}{QBA_S}(K_T\ddot{\theta}_{T_i} + Q\dot{\theta}_T)]. \tag{9}$$

Substituting (8) and (9) into (6), we obtain the required equation relative to θ_T:

$$\begin{aligned} &\frac{K_AK_T}{Q\dot{V}_A}\ddot{\theta}_T + \left[\frac{K_A}{\dot{V}_A} + \frac{K_TBA_S}{\dot{V}_A} + \frac{K_T}{Q}\right]\dot{\theta}_T + \theta_T = \\ &= BA_SF^I_{CO_2}(t) + \frac{BA_SMR}{\dot{V}_A} + \frac{MR}{Q} + A_i. \end{aligned} \tag{10}$$

Having obtained the equation with respect to θ_T, we can find θ_A in several ways. From equation (8), find the expression for the concentration θ_A, substituting in (8) the expressions for θ_T and $\dot{\theta}_T$. But there is another method of determination θ_A, analogous to the method used to derive equation (10) with respect to θ_T. It consists in the fact that equation (6) is solved relatively to θ_T, the result obtained is differentiated (in this case, an expression for $\dot{\theta}_T$ is obtained) and the expressions for θ_T and $\dot{\theta}_T$ in equation (7) are substituted. The equation derived in this way has the following form [5]:

$$\frac{K_A K_T}{Q\dot{V}_A}\ddot{\theta}_A + \left[\frac{K_A}{\dot{V}_A} + \frac{K_T BA_S}{\dot{V}_A} + \frac{K_T}{Q}\right]\dot{\theta}_A + \theta_A = \\ = F^I_{CO_2}(t) + \frac{K_T}{Q}\dot{F}^I_{CO_2}(t) + \frac{MR}{\dot{V}_A}. \tag{11}$$

Equations (10) and (11) describe the behavior of an isolated controlled system under the assumption that the driving function is the concentration of carbon dioxide in the inspired air $F^I_{CO_2}(t)$. We solve these equations with respect to $\theta_T(t)$ and $\theta_A(t)$ for the case when $F^I_{CO_2}(t)$ represents a jump with amplitude $(F^I_{CO_2}(t))_1$. To solve these equations, we apply the classical method or the Laplace transform method.

The control system should be a "simple proportional regulator that does not contain dynamic elements". We suppose now that the same relation can be written in such a way that the concentration θ_T is included in it, and that it is valid for both transitional and steady-state conditions. We write down the equation of the control system in the following form:

$$\dot{V}_A = k_p\left[\theta_T - \theta_{Ti}\right] + \dot{V}_{Ar}. \tag{12}$$

In this equation θ_{Ti} - preset value, $\dot{V}_{Ar}$ - bias signal. The gain of the proportional regulator is k_p.

Equations of motion (12) can be reduced to the following form, assuming $y = \theta_T$:

$$M\frac{d^2y}{dt^2} + R\frac{dy}{dt} + Ky = F, \tag{13}$$

where

$$M = \frac{K_A K_T}{Q\dot{V}_A}, \quad R = \frac{K_A}{\dot{V}_A} + \frac{BA_S K_T}{\dot{V}_A} + \frac{K_T}{Q}, \quad K = 1,$$
$$F = BA_S F^I_{CO_2}(t) + \frac{BA_S MR}{\dot{V}_A} + \frac{MR}{Q} + A_i.$$

The angular frequency: $\varpi_n = \left(\frac{K}{M}\right)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{M}}.$

Attenuation factor: $b = \frac{R}{2(KM)^{1/2}} = \frac{R}{2\sqrt{M}}.$

Consequently, the equation (13) takes the form:

$$\frac{1}{\varpi_n^2} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{2b}{\varpi_n} \cdot \frac{dy}{dt} + y = \left[\frac{1}{K}\right] F = F \tag{14}$$

or

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2b \cdot \varpi_n \frac{dy}{dt} + \varpi_n^2 y = \varpi_n^2 F \tag{15}$$

with boundary conditions

$$y(0) = y_0, \qquad \dot{y}(0) = y_1, \qquad y(T) = y_T, \qquad \dot{y}(T) = 0.$$

Using the change of variables

$$x = y - y_T$$

we have that

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2b \cdot \varpi_n \frac{dx}{dt} + \varpi_n^2 x = \varpi_n^2 (F - y_T) = u,$$

where

$$x = x_1, \qquad u = \varpi_n^2 (F - y_T).$$

This differential equation in the Cauchy normal form takes the form:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\varpi_n^2 x_1 - 2b\varpi_n x_2 + u \end{cases} \tag{16}$$

with boundary conditions

$$\begin{gathered} x_1(0) = x_{10} = y_0 - y_T, \\ x_2(0) = x_{20} = y_1. \\ x_1(T) = 0, \\ x_2(T) = 0. \end{gathered} \tag{17}$$

In the vector-matrix form:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \qquad x(0) = x_0, \qquad x(T) = 0,$$

where

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\overline{\omega}_n^2 & -2b\overline{\omega}_n \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad u - \text{ scalar.}$$

Fundamental system

$$\hat{O}(t) = A\hat{O}(t), \quad \hat{O}(0) = \hat{A}$$

is represented as:

$$\begin{pmatrix} \hat{O}_{11} & \hat{O}_{12} \\ \hat{O}_{21} & \hat{O}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2b\omega_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{O}_{11} & \hat{O}_{12} \\ \hat{O}_{21} & \hat{O}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{O}_{21} & \hat{O}_{22} \\ -\omega_n^2\hat{O}_{11} - 2b\omega_n\hat{O}_{21} & -\omega_n^2\hat{O}_{12} - 2b\omega_n\hat{O}_{22} \end{pmatrix}.$$

Hence, we have

$$\begin{cases} \dot{\Phi}_{11} = \Phi_{21}, \\ \dot{\Phi}_{21} = -\varpi_n^2\Phi_{11} - 2b\varpi_n\Phi_{21}, \\ \dot{\Phi}_{12} = \Phi_{22}, \\ \dot{\Phi}_{22} = -\varpi_n^2\Phi_{12} - 2b\varpi_n\Phi_{21}\Phi_{22}, \end{cases} \tag{18}$$

$$\hat{O}_{11}(0) = 1, \qquad \hat{O}_{21}(0) = 0, \qquad \hat{O}_{12}(0) = 0, \qquad \hat{O}_{22}(0) = 1.$$

Next, we get

$$\ddot{O}_{11} + 2b\omega_n\dot{O}_{11} + \omega_o^2\hat{O}_{11} = 0, \qquad \ddot{O}_{12} + 2b\omega_n\dot{O}_{12} + \omega_o^2\hat{O}_{12} = 0. \tag{19}$$

We note that the disturbance $F_{CO_2}^I(s)$ is the direct driving force for the controlled system, and the control value $\dot{V}_A(s)$ excites the system due to parametric influence. The latter is the source of the nonlinearity of the system, as can be verified by substituting the equation (6) in (19).

We obtain the following equation of a closed system with respect to θ_T:

$$a\ddot{\theta}_T + \beta\dot{\theta}_T + \gamma\dot{\theta}_T\theta_T + \theta_T^2 + \eta\theta_T = \lambda, \tag{20}$$

where

$$\alpha \equiv \frac{K_A K_T}{k_p Q},$$

$$\beta \equiv \frac{K_A + K_T B A_S}{k_p} - \frac{K_T\theta_{Ti}}{Q} + \frac{K_T\dot{V}_{Ar}}{k_p Q}, \qquad \gamma \equiv \frac{K_T}{Q},$$

$$\eta \equiv \frac{\dot{V}_{Ar}}{k_p} - \theta_{Ti} - BA_S F_{CO_2}^I - \frac{MR}{Q} - A_i,$$

$$\lambda = \frac{BA_S MR}{k_p} + \left[\frac{\dot{V}_{Ar}}{k_p} - \theta_{Ti}\right]\left[BA_S F^I_{CO_2} + \frac{MR}{Q} + A_i\right].$$

The equation (20) is a nonlinear differential equation, since it contains terms of the second degree $\dot{\theta}_T\theta_T$ and θ_T^2. Since $\dot{V}_A$ is a linear algebraic function of θ_T concentration (equation 6), then the equation of a closed system with respect to $\dot{V}_A$ in the form would be identical to equation (20). Relatively to θ_A, a complex nonlinear equation can also be obtained [2].

Let us consider the stabilization of the motions of the quadratic system (20) on a finite interval of time [4].

We denote $\bar{u} = \dot{V}_{A_r}$ – as control

$$\beta = \beta_1 + \beta_2\bar{u},$$
$$\eta = \eta_1\bar{u} - \eta_2, \qquad \gamma_1 = \gamma/\alpha, \qquad \lambda_1 = \lambda/\alpha, \qquad \eta_1 = 1/\alpha,$$
$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2\bar{u},$$

where

$$\beta_1 = \frac{\left[\frac{K_A + K_T BA_S}{k_p} - \frac{K_T Q_{T_i}}{Q}\right]}{\alpha}, \qquad \beta_2 = \frac{K_T}{k_p Q^\alpha},$$

$$\eta_1 = \frac{1}{K_p\alpha}, \qquad \eta_2 = \frac{\left[Q_{T_i} - BA_S F^I_{co} - \frac{MR}{Q} - A_i\right]}{\alpha},$$

$$\lambda_1 = \frac{\left[\frac{BA_S MR}{k_p} - Q_{T_i}(BA_S F^I_{co} + \frac{MR}{Q} + A_i)\right]}{\alpha},$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{k_p\alpha}(BA_S F^I_{co} + \frac{MR}{Q} + A_i).$$

Then,

$$\ddot{\theta}_T + \beta_1\dot{\theta}_T - \eta_2\theta_T + \beta_2\bar{u}\,\dot{\theta}_T + \gamma_1\dot{\theta}_T\theta_T + \eta_2\theta_T^2 + \eta_1\bar{u}\,\theta_T = \lambda_1 + \lambda_2\bar{u}. \qquad (21)$$

We consider,

$$\theta_T = y,$$
$$\ddot{y} + \beta_1\dot{y} - \eta_2 y + \beta_2\bar{u}\,\dot{y} + \gamma_1\dot{y}y + \eta_1 y^2 + \eta_1\bar{u}\,y = \lambda_1 + \lambda_2\bar{u}.$$
$$y(0) = y_0, \quad \dot{y}(0) = y_1, \quad y(T) = y_T, \quad \dot{y}(T) = 0.$$

Then,

$x = y - y_T$,

$$\ddot{x} + \beta_1\dot{x} - \eta_2(x + y_T) + \beta_2\bar{u}\dot{x} + \gamma_1\dot{x}(x + y_T) + \eta_1(x + y_T)^2 + \eta_1\bar{u}(x + y_T) = \lambda_1 + \lambda_2\bar{u}$$

or

$$\ddot{x} + \beta_1\dot{x} + \eta_3 x + \beta_2\bar{u}\dot{x} + \gamma_1\dot{x}x + \eta_2 x^2 + \eta_1\bar{u}x + \mu_1 = \lambda_3\bar{u}, \tag{22}$$

where

$$\mu_1 = -\eta_2 y_T + \gamma_1 y_T + \eta_1 y_T^2 - \lambda_1,$$
$$\lambda_3 = \lambda_2 - \eta_1 y_T, \qquad \eta_3 = 2\eta_1 y_T - \eta_2,$$
$$x(0) = y_0 - y_T, \qquad \dot{x}(0) = y_1,$$
$$x(T) = y_T - y_T = 0, \qquad \dot{x}(T) = \dot{y}(T) = 0.$$

We consider,

$$u = \lambda_3\bar{u} - \mu_1,\ \bar{u} = \frac{1}{\lambda_3}(u + \mu_1), \ddot{x} + \beta_4\dot{x} + \eta_5 x + \beta_3 u\dot{x} + \gamma_1\dot{x}x + \eta_1 x^2 + \eta_4 ux = u, \tag{23}$$

where

$$\beta_3 = \frac{\beta_2}{\lambda_3}, \qquad \beta_4 = \beta_1 + \frac{\mu_1}{\lambda_3}, \qquad \eta_4 = \frac{\eta_1}{\lambda_3}, \qquad \eta_5 = \eta_3 + \frac{\eta_1\mu_1}{\lambda_3}.$$

Let it be

$$\begin{cases} x = x_1, \\ \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\eta_5 x_1 - \beta_4 x_2 + u + f_2(x,u), \end{cases} \tag{24}$$

$$f_2(x,u) = -\beta_3 u x_2 - \gamma_1 x_1 x_2 - \eta_1 x_1^2 - \eta_4 x_1 u, \qquad t \in [0,T]$$
$$x_1(0) = x_{10}, \qquad x_1(T) = 0,$$
$$x_2(0) = x_{20} = y_1, \qquad x_2(T) = 0.$$

We consider a linear system $\dot{x} = Ax + Bu^0$.

Fundamental system

$$\dot{\Omega}(t) = A\Omega(t), \qquad \Omega(0) = E$$

has the form:

$$\begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\beta_4 & -\eta_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_{21} & , & \Omega_{22} \\ -\beta_4\Omega_{11} - \eta_5\Omega_{21}, & & -\beta_4\Omega_{12} - \eta_5\Omega_{22} \end{pmatrix}.$$

At that

$$\dot{\Phi}_{11} = \Phi_{21},$$
$$\dot{\Phi}_{21} = -\beta_4\Phi_{11} - \eta_5\Phi_{21},$$
$$\dot{\Phi}_{12} = \Phi_{22},$$
$$\dot{\Phi}_{22} = -\beta_4\Phi_{12} - \eta_5\Phi_{22},$$

$$\hat{\mathrm{O}}_{11}(0) = 1, \quad \hat{O}_{12}(0) = 0, \quad \hat{O}_{21}(0) = 0, \quad \hat{O}_{22}(0) = 1,$$

$$\ddot{O}_{21} + \eta_5 \hat{O}_{21} + \beta_4 \hat{O}_{21} = 0, \tag{25}$$

$$\ddot{O}_{22} + \eta_5 \hat{O}_{22} + \beta_4 \hat{O}_{22} = 0. \tag{26}$$

The characteristic equation:

$$\lambda^2 + \eta_5 \lambda + \beta_4 = 0, \quad \lambda_{1,2} = \frac{-\eta_5 \pm \sqrt{\eta_5^2 - 4\beta_4}}{2}.$$

has the roots

$$\lambda_1 = -\mu_1, \qquad \mu_1 = \frac{1}{2}\left[\eta_5 - \sqrt{D}\right] > 0,$$

$$\lambda_2 = -\mu_2, \qquad \mu_2 = \frac{1}{2}[\eta_5 + \sqrt{D}] > 0.$$

The fundamental matrix of solutions has the form:

$$\hat{O}(t) = \frac{1}{\mu_2 - \mu_1}\begin{pmatrix} \left[(\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_2 t} + (\eta_5 - \mu_1)e^{-\mu_1 t}\right] & \frac{-(\mu_2 - \eta_5)(\mu_1 - \eta_5)}{\beta_4}(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}) \\ \beta_4(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}) & [(\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_1 t} - (\mu_1 - \eta_5)e^{-\mu_2 t}] \end{pmatrix} =$$

$$= \frac{1}{\mu_2 - \mu_1}\overline{\hat{\mathrm{O}}}(t).$$

The inverse matrix:

$$\hat{O}^{-1}(t) = (\mu_2 - \mu_1)\ \overline{\hat{\mathrm{O}}}^{-1}(t),$$

$$\Delta = e^{-(\mu_1+\mu_2)t}\left[\ (\mu_2 - \eta_5) - (\mu_1 - \eta_5)\ \right]^2 = e^{-(\mu_1+\mu_2)t}(\mu_2 - \mu_1)^2 > 0.$$

Consequently,

$$\hat{O}^{-1}(t) = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\Delta}\begin{pmatrix} (\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_1 t} - (\mu_1 - \eta_5)e^{-\mu_2 t}, & \frac{(\mu_2 - \eta_5)(\mu_1 - \eta_5)}{\beta_4}(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}) \\ -\beta_4(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}), & (\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_2 t} + (\eta_5 - \mu_1)e^{-\mu_1 t} \end{pmatrix}.$$

we get

$$Q(t) = \hat{O}^{-1}(t)\ \mathrm{B} = \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{\Delta}\begin{pmatrix} \frac{(\mu_2 - \eta_5)(\mu_1 - \eta_5)}{\beta_4}(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}) \\ (\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_2 t} + (\eta_5 - \mu_1)e^{-\mu_1 t} \end{pmatrix},$$

and

$$Q(t)Q^{\prec}(t) = \frac{(\mu_2 - \mu_1)^2}{\Delta^2}\begin{pmatrix} \Phi_{11}(t), & \Phi_{12}(t) \\ \Phi_{12}(t), & \Phi_{22}(t) \end{pmatrix},$$

where

$$\hat{O}_{11}(t) = \frac{(\mu_2 - \eta_5)^2(\mu_1 - \eta_5)^2}{\beta_4^2}(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t})^2,$$

$$\hat{O}_{12}(t) = \left[(\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_2 t} + (\eta_5 - \mu_1)e^{-\mu_1 t}\right]\frac{(\mu_2 - \eta_5)(\mu_2 - \eta_5)}{\beta_4}(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t}),$$

$$\hat{O}_{22}(t) = \left[(\mu_2 - \eta_5)e^{-\mu_2 t} + (\eta_5 - \mu_1)e^{-\mu_1 t}\right]^2.$$

$$R(t,T) = \int_t^T Q(\tau)Q^*(\tau)d\tau = \begin{pmatrix} R_{11}, & R_{12} \\ R_{12}, & R_{22} \end{pmatrix}\frac{(\mu_2 - \mu_1)^2}{\Delta^2},$$

$$R_{11}(t) = \int_t^T \Phi_{11}(\tau)d\tau, \quad R_{12}(t) = \int_t^T \Phi_{12}(\tau)d\tau, \quad R_{22}(t) = \int_t^T \Phi_{22}(\tau)d\tau.$$

Let us check:

$$R(o,T) > 0, \quad \text{т.е. } R_{11}(0) > 0, \quad \mathrm{R}_{11}(0)R_{22}(0) - R_{12}^2(0) > 0, \text{ using } T > 0.$$

We calculate $R^{-1}(0,T)$:

$$W(t,T) = \hat{O}(t)\ \mathrm{R(t,}T)\ \ \hat{\mathrm{O}}^*(t) = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{pmatrix},$$

$$K(t) = W^{-1}(t,T) = \begin{pmatrix} K_{11}(t), & K_{12}(t) \\ K_{12}(t), & K_{22}(t) \end{pmatrix}.$$

Then the stabilizing control will take the form:

$$u^0(t,x) = -B^*K(t)x = -(0\,,1)\begin{pmatrix} K_{11}(t), & K_{12}(t) \\ K_{12}(t), & K_{22}(t) \end{pmatrix}x = -K_{12}(t)x_1 - K_{22}(t)x_2.$$

$$u(t,x) = u^0(t,x) + v(t,x), \quad \mathrm{t} \in [0,\mathrm{T}),$$

where the scalar function $v(t,x)$ is determined under the condition [3]

$$2B\ v(t,x) + 2\,f(-B^*K(t)x + \ v(t,x),x) - BB^*K(t)x = -\overline{R}(t)x, \qquad (27)$$

where $\overline{R}(t) - 2 \times 2$ matrix such that

$$K\overline{R}(t) + \overline{R}^*(t)K \geq 0,$$

ie, non-negative definite.

Let us suppose that

$$\overline{R}_{11} = 0, \quad \overline{\mathrm{R}}_{12} = 0,$$
$$\overline{R} = \begin{pmatrix} 0, & 0 \\ \overline{R}_{21}(t) & \overline{R}_{22}(t) \end{pmatrix}.$$

From (27) we have the following equation for determining $v(t,x)$.

$$\begin{aligned} &2 \ v(t,x)\text{-}2\{\gamma_1 x_1 x_2 + \eta_1 x_1^2 + (\beta_3 x_2 + \eta_4 x_1)(-K_{12}x_1 - K_{22}x_2)\} - \\ &- 2(\beta_3 x_2 + \eta_4 x_1)v(t,x) - K_{12}x_1 - K_{22}x_2 = -\overline{R}_{21}x_1 - \overline{R}_{22}(t)x_2. \end{aligned} \tag{28}$$

Let it be

$$\overline{R}_{21} = K_{12}, \qquad \overline{R}_{22} = K_{22},$$

$$K\overline{R} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{12} & K_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ K_{12} & K_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{12}^2 & K_{12}K_{22} \\ K_{12}K_{22} & K_{22}^2 \end{pmatrix}.$$

$$K\overline{R} + \overline{R}^*K = 2\begin{pmatrix} K_{12}^2, & K_{12}K_{22} \\ K_{12}K_{22}, & K_{22}^2 \end{pmatrix} \geq 0, \qquad K_{12}^2 > 0,$$

$$K_{12}^2 K_{22}^2 - K_{12}^2 K_{22}^2 = 0.$$

It follows from (28):

$$v(t,x) \ \left[1 - \beta_3 x_2 - \eta_4 x_1\right] = C_{11}x_1^2 + C_{12}x_1x_2 - C_{22}x_2^2,$$

where

$$C_{11} = \eta_1 - \eta_4 K_{12}, \qquad C_{12} = \gamma_1 - \beta_3 K_{12} - \eta_4 K_{22},$$
$$C_{22} = \beta_3 K_{22}.$$

$$v(t,x) = \frac{C_{11}(t)x_1^2 + C_{12}(t)x_1x_2 - C_{22}(t)x_2^2}{1 - \beta_3 x_2 - \eta_4 x_1}, \quad \mathrm{t} \in [0,T),$$

$$u(t,x) = -K_{12}(t)x_1 - K_{22}(t)x_2 + \frac{C_{11}(t)x_1^2 + C_{12}(t)x_1x_2 - C_{22}(t)x_2^2}{1 - \beta_3 x_2 - \eta_4 x_1}, \quad t \in [0,T)$$

provides stability in a finite time interval, i.e. $x(T) = 0$.

$$x_1(t) = \frac{1}{(\mu_2 - \mu_1)\Delta_1}\{(\mu_2 e^{-\mu_1 t} - \mu_1 e^{-\mu_2 t})[(R_{11}R_{22}(0) - R_{12}R_{12}(0))\mathrm{x}_{10} +$$
$$+ (R_{12}R_{11}(0) - R_{11}R_{12}(0))\mathrm{x}_{20}] + \varpi_n^2(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t})[(R_{12}R_{22}(0) - R_{12}(0)R_{22})\mathrm{x}_{10} +$$
$$+ (R_{11}R_{22}(0) - R_{12}R_{12}(0))\mathrm{x}_{20}]\},$$

$$x_2(t) = \frac{1}{(\mu_2 - \mu_1)\Delta_1}\{(e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})[(R_{11}R_{22}(0) - R_{12}R_{12}(0))\mathrm{x}_{10} +$$
$$+ (R_{12}R_{11}(0) - R_{11}R_{12}(0))\mathrm{x}_{20}] + (\mu_2 e^{-\mu_2 t} - \mu_1 e^{-\mu_1 t})[(R_{12}R_{22}(0) - R_{12}(0)R_{22})\mathrm{x}_{10} +$$
$$+ (R_{11}(0)R_{22} - R_{12}R_{12}(0))\mathrm{x}_{20}]\}, \qquad t \in [0,T].$$

$$C_{11} = \eta_1 - \eta_4 K_{12}, \qquad C_{12} = \gamma_1 - \beta_3 K_{12} - \eta_4 K_{22},$$
$$C_{22} = \beta_3 K_{22}.$$

$$v(t,x) = \frac{C_{11}(t)x_1^2 + C_{12}(t)x_1x_2 - C_{22}(t)x_2^2}{1 - \beta_3 x_2 - \eta_4 x_1}, \quad \mathrm{t} \in [0,T),$$

$$u(t,x) = -K_{12}(t)x_1 - K_{22}(t)x_2 + \frac{C_{11}(t)x_1^2 + C_{12}(t)x_1x_2 - C_{22}(t)x_2^2}{1 - \beta_3 x_2 - \eta_4 x_1}, \quad t \in [0,T) \qquad (29)$$

provides stability in a finite time interval, i.e. $x(T) = 0$.

The obtained control (29) at parametric excitation gives certain prescriptions for closing the current process and, although the mechanisms of the regulator may require detailed consideration, the proposed approach answers the question of providing the desired state [6]. From the latest results, it is not difficult to restore the initial designations of the variables of the respiratory chemostat [7].

In the article the stability of the respiratory chemostat on the finite time interval was studied, the task of stabilizing the biomedical system of the respiratory chemostat was solved, for cases of linear and quasilinear control systems and unsteady regime. The simulation of the process in a closed system for controlling the process of the respiratory chemostat for various values of the attenuation coefficient and its own angular frequency was carried out.

References

1. Grodingz F. Teorija regulirovanija i biologicheskie sistemy. M.: Mir, 1966, 117c.

2. La-Sall' Zh. Lefshec S. Issledovanie ustojchivosti prjamym metodom Ljapunova. – M.: Mir, 1964,37c.

3. Abgarjan K.A. Vvedenie v teoriju ustojchivosti dvizhenija na konechnom intervale vremeni. – M.: Nauka, 1992, 87c

4. Petrosjan P.L., Zaharov V.V. Matematicheskie modeli v jekologii. –SPb.: Iz-vo SpbGU, 1997. – 254 s.

5. Bijarov T.N., Kalimoldaev M.N., Kenesbaev S.M. Ustojchivost' i upravljaemost' nelinejnyh sistem // Dep.nauch. raboty. KazNIINKI.- 1992, №3911 – K. 92, vyp. 2. – 45 s.

6. Bellman R. Matematicheskie metody v medicine. – M.: Mir, 1987. –200 s.
7. Wu M.-Y. On stability of linear time-varying system // Int. J. of systems Science. 1994. V.15. N 2. – P. 137 - 150

ELECTRONIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM IN EDUCATION SECTOR

Ibragimov N., Kongratbayev K., Amangeldiyeva A.
nazim.ibragimov@sdu.edu.kz , 191107017@stu.sdu.edu.kz , 160103046@stu.sdu.edu.kz
Suleyman Demirel University, Kazakhstan

Abstract. *Human resource management(HRM) systems to manage international competitions, conferences and other annual events are vital for optimal resource management before, during and after the events. This paper discusses an educational electronic (e-HRM) system that was developed to power an international computer projects competition in university. Using these new methods based on the competition performance expectancy, social activity and the attitude towards the e - HRM systems in educational areas, this study examines the relationship between e - HRM systems and education, finds solutions for process optimization in the university. The results of the research analysis are detaily explained, supported by mathematical calculations and turned up successful (are shown further in details). The article concludes that e- HRM system is essential in education systems and organizations.*

1 Introduction

By definition, e-HRM is a system for the planning, implementation and application of information for both networking and supporting at least two individuals in their shared performing of HR activities [1]. According to recent news of FinancesOnline (Reviews for Business) webcite the best popular HR management software is BambooHR. It provides organizations with all the essential HR features such as payroll management, performance evaluation, and employee retention. Furthermore, it comes with advanced functionalities like real-time reporting and employee self-service, making it one of the most comprehensive platforms on the market. By evaluating already existed systems, the goal of the newly created system became to re-construct e - HRM system for educational needs that will be based on new time-saving and performance effective methods, make data analysis and correctly apply analytical functions in the educational system.

Applying an e-HRM system is a way of implementing HR strategies, policies, practices and receiving its performance much faster and better than ordinary HRM. The key difference is - the e-HRM system supports the HR function to satisfy with the HR needs of the organization through web-technology-based channels. In education systems are a lot of different platforms (web, mobile), but the topic of E - HRM systems in educational field was not considered deeply enough: therefore, only a few works were

accomplished in building tools in this field. Being one of the newest problems in education areas with arguably the highest demand for a practical solution and high performance, HRM systems for any organizations. This paper presents an approach for maximizing efficiency and minimizing costs in HR and that is based on the following methods:

- Data selection
- Working performance
- HRM methods

All three methods take advantage of statistical and rule-based approaches. The main goal is to select the suitable platform that will combine functionalities to save, improve and optimize the system of HR. Also, this paper aims to renew and develop e - HRM system by testing-analysis of international competition for the case of education. Since the ordinary HR structure in education organizations is different, the construction of the new structure of e - HRM system, will also be a part of the problem. Today, there is no such data sources that can provide with e - HRM information, that is why the data was taken from the archive in the university where the competition organized. Note that, data includes information of five year-period of competition starting from 2015 ending with 2019. Since in 2019 this university has used a new web platform that will work as a platform that will be detaily described and used in this research paper, the more attention will be given to 2019.

After performing a preliminary study of the e - HRM system based on the new web platform, some problems of the structure and functionalities have been pointed out. Through the whole paper, the information about e - HRM technique, used approaches, obtained results have been considered, and analyses were conducted. The selected platform helped to implement all other aims of e - HRM and obtain new results. This process is done through testing of HRM systems during five years in the university with international educational competition.

The paper is organized as follows. Section 2 reviews related work; after that, the working methods of the new e - HRM system are fully covered in Section 3. Analysis and evaluation are discussed in Section 4. Finally, conclusion and future works are described in Sections 5 and 6.

2 Related work

Management, as a phenomenon, emerged a long time ago. The English term ”management” comes from the expression to manage, which has several meanings: train, operate, supervise, be able to handle, maintain, guide, administer, regulate. However, manage is not purely English, and comes from the Latin *manus* - hand. In 600 BC, king Nebuchadnezzar recognized the need to control production and stimulate labor through wages. In 500 BC, Menzius proclaimed the need for standards and systems; at the same time, the Chinese recognized the need for specialization. In 400, Socrates suggested the universality of management, and the ancient Greek writer and historian Xenophon (his main work ”Greek history” in 7 tons) defined management as a special kind of art.

The study of scientific methods of work and working rhythm first engaged the Greeks in 350 BC In 900, Alfarabi, who was respectfully called the ”Second” (the First - Aristotle). He formulated the requirements for the head, and the Persian philosopher Ghazali in 1100 formulated the requirements for the Manager. [2]

The next step in the development of management was made by the Venetians in 1436. From that time checks were used for control, inventory numbers were assigned, inventory and cost were controlled. In 1525 N. Machiavelli defined the qualities of a leader. At the same time, the need for commitment in the organization was recognized.

The emergence of scientific management refers to 1900 and is associated with the names of Americans, J. Of Wharton and F. Taylor. Dose Wharton developed its first systematic course of instruction at the College. But management received wide recognition only in 1911 in connection with the publication by Frederick Taylor (1856-1915) of the book ”Principles of scientific management”.

Although it is thanks to the efforts of F. Taylor management has received universal recognition, the father of management is still not F. Taylor, and Henry (Henri) fayol, who created the first holistic theory of management and formulated its fundamental principles and functions. It was he who raised in 1916 the question of teaching a course of management in educational institutions.

The theorists of management can be attributed to Lenin. In his work ”the Next tasks of the Soviet power” he offers the fundamental principles of management: unity of command, discipline, power and responsibility, subordination of private interests to the General, centralization, interest in work (motivation). Unlike A. Fayol (and his works coincided on time with works of V. Lenin) and the majority of other theorists of management, even modern, V. I. Lenin emphasized the task of increasing labor productivity (rather than increasing profits) as the most important component of improving the welfare of the people.

One of the last steps in the theory of management was made in 1985 by T. Peters [3]. His merit is that he proposed to treat the staff of the organization as an important resource for business development.

Generalization of the basic provisions of management as a science began only in the middle of the XX century [4]. The management were developed insights drawn from management theory, psychology, sociology, economics, etc.

At the end of the 20th century, the principal problem of management was the fundamentally new, systematic nature of changes in the conditions of economic activity. Now these changes began to follow each other continuously and even overlap each other. They are closely interrelated, and each of them along a chain reaction can lead to a series of new companies unfolding in the external environment with increasing speed. Difficult predictability and diversity of the processes taking place in the economy allowed P. Drucker to call this time an era without patterns [5][6].

Thus, from a scientific point of view, human management consists in the implementation of targeted impacts on its respective categories or individual employees in order to most successfully solve the tasks facing the enterprise [7]. These impacts are carried out in the form of decision-making on person, which is one of the most important features of the management of social and technical systems.

From the foregoing it follows that management is a very capacious concept and is characterized in modern economic conditions as a special type of social management activity, the ability to achieve goals, using the work, intelligence and motives of other people.

Let us consider the features of management in modern economic conditions [8].

1. When designing control systems taking into account the changing conditions of economic activity, it is accepted to use methods based on situational or evolutionary management theory. However, in modern conditions, these design methods are increasingly ineffective.

2. The situational concept involves the development of an organizational project for a discrete, random situation that will persist indefinitely. The models of evolutionary theory are based on the typification of effective practical organizational solutions that neutralize the individual characteristics of company management [9]. Namely on the basis of these features and there are competitive advantages that determine the direction of further development of management systems. Thus, the continuity of adaptation of the designed control systems is violated, which contradicts the logic of changes in the environment.

3. The search for a new, more effective management paradigm led to the idea of using universal principles of evolution of natural complex systems described by chaos theory and synergetics in organizational design. 4. In accordance with this paradigm, the search for effective management at each stage of enterprise development is carried out through a combination of processes of self-organization and growth of internal entropy. The process of self-organization involves aligning the variety of management reactions of the enterprise with the variety of impacts and disturbances of the external environment the market. In this case, the company will be able to consciously pursue a strategy to achieve the goals and maintain external efficiency.

The growth of internal entropy means such a combination of resources and the use of a positive effect of scale, in which the cost of achieving the target effect will be minimal. This efficiency is called internal efficiency. [10]

3 Methods

During research several methods were used. Since the main task was to develop a platform that will implement an e - HRM system in education field, new methods that will make this system unique were used. They are:

1. Data Analysis:

In order to get clear understanding the five-year data was taken. This data includes the reports of competition hold during the period of time 2015 - 2018 years and the data of 2019 when the new e - HRM system was created. The table 1 describes the information of five years and five variables that detaily describes the situation and gives proper data for analysis. In general, number of registered participants (Work Done), employers and time, consumed for the registration process and measured in hours helps to build an appropriate dependence (1) for Work Performance(WP) and make clear calculations. By using this we can surely define what factors affect to the work efficiency and what should be done in order to get high work efficiency and low consumption of time. The next dependence (2) which has been found is an economic measure - Return on Investment (ROI), which depends on budget, work performance and price per one working hour variables.

2. Working performance:

In most organizations, managing performance falls into one of two camps: either it’s trapped in a cliché of once-a-year assessments by managers according to a system that has

not changed in years, or it is constantly tinkered with, changing every year or two as competency frameworks are adjusted.

Neither of these scenarios is likely to result in good performance management, and for sure neither help boost user's confidence in the process.

Therefore, if change is needed to stay up to date, but users also appreciate some familiarity and certainty, the only option is to make changes but make them count. To make changes, firstly we should count our values which are mostly time, price and workload (or shortly "Work Done"). It is an additive scale combining managers' responses to three questions: "Compared to other workplaces in the same

industry how would you assess your workplace's financial performance; labour productivity; quality of product or service".

$$WP = \frac{Work\ (actual\ work\ to\ do)}{Employer * Time} \quad (1)$$

$$ROI\ = \sum_{n=1}^{\infty} WP\ *\ Price\ -\ Budget \quad (2)$$

3. e - Human Resource Management:

Next method includes key differences among ordinary and newly created e - HRM systems, they are:

— *Strategic HRM Alignment:* One of the main differences between HRM systems is clear and at the same time strong structure of roles. If in ordinary HRM there was a written and said structure, here are special positions and each has its own permission. For instance, if there is a manager, he is not allowed to do things which are available for adin or participants and etc.

— *Registration and Placement:* In HRM the registration of projects have been done in different platforms, in e - HRM there is one common platform that unites not only registration, but also informative portal and makes before-hand project placement and schedule. This type of registration not only helps workers who register participants but also participants themselves. Since it much optimizes the working process and cut the time.

— *Judgment and Appeal system:* Before e - HRM there was not an online judgement system that evaluates competitions projects and moreover, the appeal process has been done only after the competition was closed. In e - HRM participants have a chance to see their marks and appeal before the competition closes.

— *Communication and Feedback:* There is a direct and online communication between participants and organizers of the competition. Project creators and their mentors are allowed to communicate with competition organizers, email them and ask their questions. Before e - HRM there was not any direct relationships among both sides.

— *Payment and payroll:* Since in this competition, there is a project registration, dormitory and nutrition fees in new HRM the online payment system has been created. When there was not an e - HRM, all payments were accomplished during registration when the competition was going to start.

— *Reporting and summaries:* Just like in any competition, there is a huge need in reports. These helps in analysis and predictions. In e - HRM is an automatically updateble report system that makes visualizations and analysis. Visual perception of the such not-

easy thing as an analysis, easily done in new system and makes it understandable and comprehensible.

— *Logs and Record-keeping:* In order to get rid of errors and any kind of misleadings, every big competition needs a real-time recording.

4 Results and Analysis

Presented in this thesis formulas has been proved by calculations and measured accordingly real time (Table 2). In order to get the data for previous years, the database resources were used. According to the data, almost each year the number of projects, registered participants, emails were increasing while the price per working hour and budget for salaries did not change much. Because of the competition and university HRM structure, new testing methods, features and dependencies of the system have been received. The main goal to make calculations was to find out the dependency of e-HRM system from work efficiency. As it could be clearly seen, when e-HRM system has been developed, the Work Power(WP) and Return of Investment(ROI) were much higher than in previous years when there was ordinary HRM.

Table 1. Competition overview

Quantity	2015	2016	2017	2018	2019
Number of projects	250	290	228	200	377
Number of registered participants	128	198	225	195	275
Number of employers	130	112	110	125	90
Time, hours	82	75	67	50	77
Emails, counts	500	490	450	357	600

Table 2. Working performance results

Quantity	2015	2016	2017	2018	2019
WP, %	1.20	2.30	3.10	3.50	4.00
Budget * 10^4, $	2.73	2.68	2.70	2.68	2.71
Price per working hour, $	3.90	4.10	4.50	4.70	4.90
ROI	1.95	6.75	11.25	13.77	16.89

5 Conclusion and Future work

During this thesis the new model of Human Resource Management system has been considered. According to the research results, newly created e-HRM in the university was efficient and useful not only for organizers (competition holders) but also for participants. The article concludes that e- HRM system is essential in education systems and organizations because of improvements in structure, time and cost efficiency, and resource management. Despite this, the quality of the system will be developed further and become better in all areas: optimization, content, design and organizing methods. Some areas need

to be considered deeper in the future. In particular, application of Machine Learning techniques in inner university processes. Many processes are tracked by the system, the gathering data can be analyzed to improve the system and replace employers with chat bots. Also, many aspects are needed to be taken into account to improve the effectiveness of optimization, for instance:

- Electronic chat-bot with ability to reply to emails with relevant, repeated contents with pre-ready answers while real employers will focus on more important mails
- Algorithm with ability to calculate and summarize working performance of employees according to employer's actions in the system to improve the time management and professional skills of employers

The new system brought very big experience to competition process in creation of new organizing platform. Several years there were different views of this system, it really looked, functioned differently. New Human Resource Management system which was based on web site helped to hold competition on a higher organized, digital and practical level. Past errors and unorganized parts were solved. This system brought not only solved issues but also automation to the competition process.

Reference

1. Ruel H., Bondarouk T. and Van der Vald, (2006). The contribution of e-HRM to HRM effectiveness. Employee Relations, 29
2. Fundamentals of personnel management: Textbook for universities / B. M. Genkin, G. A. Kononov, V. I. Kochetkov, etc.; ed. - M.: High school. - 1996. -383 S
3. David E., Peters T. Guest. Human Resource Management and Industrial Relations. Journal of Management Studies. September 1987.
4. Koritsky A.V. Introduction to the theory of human capital: textbook Novosibirsk, 2000. – 320 p.
5. Avdeev V.V. Human Management. Optimization of teamwork. - Moscow: FIS, 2006.
6. Mescon M. H., Albert M., Hedouri F. Fundamentals of management: TRANS. - M.: Business, 1998.
7. Snell S., Stueber D.and Lepak D. (2002). Virtual HR departments: getting out of the middle. In: R. Henneman and D. Greenberger (Eds.), Human Resource Management in Vitual Organizations, Greenwich: Information Age Publishing.
8. Kovach K. and Cathcart C. (1999). Human resource information systems (HRIS): Providing business with rapid data access, information exchange and strategic advantage. Public Personnel Management, 28 (2), 275-282.
9. Gardner, S., Lepak D. and Bartel K. (2003). Virtual HR: The impact of information technology on the human resource professional. Journal of Vocational Behavior, 63 (2), 159-179
10. Lawler E. And Mohrman S. (2003). HR as a strategic partner: What does it take to make it happen? Human Resource Planning, 20 (2)

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF COAL AND BIOMASS

Iskakova A.[1], Zhusupbekov S.[2], Wojcik W.[3], Omirbekova Zh.[1]
zhanomir@gmail.com
[1]KazNRTU named after K.I. Satpayev, Almaty Republic of Kazakhstan
[2] Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan 3 Lublin Technology University

Abstract. *The article discusses the modeling and analysis of electrostatic precipitators that are used in industrial combustion systems, including the use of biomass as fuel. The article focuses on the numerical dependencies and physicochemical properties of particle combustion for efficiently solving the problems of managing the exhaust gas cleaning system. The indicators that determine the efficiency of the electrostatic precipitator are divided into two large groups: the properties and parameters of the gas-dust flow; parameters of the electrostatic precipitator. The factors that have the greatest influence on the residual dust content in a gas are identified by mathematical models. The simulation was carried out on the basis of experimental data obtained at the facility. Technological parameters were used as input data. Conducted research in an industrial power plant that burns biomass, allowed to draw conclusions about the reasons for the increase in the content of combustible particles in solid by-products of combustion.*

Keywords: *electrostatic filter, combustion, diagnostics, biomass, modeling, identification.*

Introduction

The traditional technology of pulverized (chamber) coal combustion is predominant in the power industry of the Republic of Kazakhstan and at foreign enterprises of various industries and it is extremely important to increase the efficiency of this technology.

One of the possible ways to increase the efficiency and "environmental friendliness" of this technology is the use of electrostatic precipitators for cleaning industrial gases.

Electrostatic precipitators are characterized by efficiency, a wide range of performance and temperature of gas flows, the lowest hydraulic resistance. They are designed to operate at atmospheric pressure as well as at pressures above and below atmospheric and trapping particles ranging in size from 100 to 0.01 μm, and can be made of materials resistant to acids, alkalis and other aggressive media [1].

In recent years, instead of traditional coal combustion technologies, co-combustion of biomass with coal dust has been used in foreign enterprises of the heat and power complex.

Co-firing of coal and biomass to generate heat and electricity has several advantages, which include the following:

- reduced capital costs of implementation;
- eliminates the problem of using energy produced on the basis of biomass;
- higher efficiency of using the available heat of fuel is achieved:
- reduced air pollution emissions of sulfur oxides, nitrogen, aerosols;

- reduced cost of generated energy;
- reduced greenhouse carbon dioxide emissions.

However, experimental studies of some characteristics and composition of biomass showed that these characteristics of biomass are so drastically different from coal used in TPPs (significant fluctuations in energy characteristics; extremely unstable humidity; elevated pollutants, slagging and even for some biomass - corrosion properties, etc.) which makes it difficult and requires restrictions on the technological parameters of electrical gas cleaning.

In general, industrial gases that form as a result of combustion of fuel from biomass, according to their characteristics, depending on the type of biomass, differ significantly not only in humidity, but in some cases in ash content and in nitrogen content. This also indicates the need for a preliminary, thorough study of the composition and characteristics of industrial gases to reduce the spread and averaging of the characteristics directly used in the automation of the technological process.

Research

In connection with the above, it is necessary to carry out research on the chemical composition of biomass.

The process of co-combustion of biomass with coal dust and the problems associated with this are highly dependent on the amount of biomass mass added.

Tables 1 and 2 present the main physicochemical properties of biomass, which are often used. For comparison, the parameters of stone and brown coal are also given.

Table 1 - Physical-chemical properties of coal and various types of biomass in working condition (b.d. - unknown)

Fuel type	Total humidity	Cinder	Calorific. value	Sulfur	Nitrogen	Chlorine	Fluoride
	%	%	KJ/kg	%	%	%	%
Briquette out wood	3,8-14,1	0,3-28,7	15212-19742	0,01-0,21	0,08-0,19	0,091	b.d.
straw briquettes	9,7	5,2	15231	0,14	b.d.	b.d.	b.d.
Pellets	3,6-12	1,2-3,2	16512-17281	0,02-0,23	0,11-1,13	b.d.	b.d.
sawdust	39,1-47,3	1,3	5267	0,05-02		b.d.	b.d.
Tree bark	38,4-48,1	3,9-14,7	7947-11796	0,06-0,07	0,28-0,33	0,02	b.d.
Wood dust	3,8-6,4	2,4-17,1	15212-19148	0,12-0,21	b.d.	b.d.	0,001-0,003
Wood Chips	42,4	0,5	8957	0,03	0,06	b.d.	b.d.

Meat-bone powder	1,6-4,3	23,8-31,5	16529-19049	0,39-0,57	b.d.	b.d.	b.d.
Brown biomass carbon	53,2-55	8,6-15,3	7575-8929	0,45-0,75	0,3-0,41	0,003	0,001
Brown coal	53,1	17,3	9155	0,78	0,24	0,007	0,002
Sediments Drains	64,5-83	31,5-46,5	285-2245	0,16-0,46	b.d	0,0017-0,036	b.d

As shown in table that the calorific value of biomass in working condition varies over a very wide range, and can reach up to 20 MJ / kg (wood briquette, meat for bone meal). Commonly used chips have a relatively low calorific value (approx. 9 MJ / kg per unit volume). This reduces their financial attractiveness due to higher transportation costs, the need to supply large quantities for burning the boiler when processing the same amount of heat energy [3]. Humidity, which is the amount of water contained in the fuel, directly reduces the calorific value.

Development of parametric models and various options, selection of parameters and calculation of suitability criteria for approximation.

Table 2 - Physical and chemical properties of coal and various types of biomass (content of volatile substances, ash and solid combustible mass are noted in a dry state) [4]

Parameters	Coal stone	Resin	Mis-canthus giant	Wood beech	Willow	Malva
Content Humidity,%	2,8	10,6	7,6	b.d.	8,49	b.d.
Content of volatile particles	34,7	74,4	78,2	83,2	75	83,5
Ash%	8,25	6,1	4,9	0,34	2,77	5,43
Ash content %						
Constant mass is burned	57,1	19,9	17	16,5	22,23	b.d.
Elementary, %						
Coal	72,48	47,4	50,7	48,7	48,76	47,82
Hydrogen	5,64	4,5	4,4	5,7	5,78	6,15
nitrogen	1,28	0,4-0,8	0,08-0,51	0,13	1,26	0,13-0,21
sulfur	0,94	0,05-0,11	0,04-0,26	<0,05	0,007	0,018
Chlorine	0,128	0,4-0,73	0,15-0,25	<0,1	0	0,016
Oxygen	11,1	40,4	39,1	45	44,2	40,38
C/H	12,87	10,53	11,52	8,54	8,44	7,77
Analysis of ash (weight% turnover)						
SiO_2	43,7	56,2	70,6	15,2	50,23	6,22
Al_2O_3	24,7	1,2	1,1	2,65	2,01	0,57
TiO_2	0,97	0,06		0,26	0,12	0,3

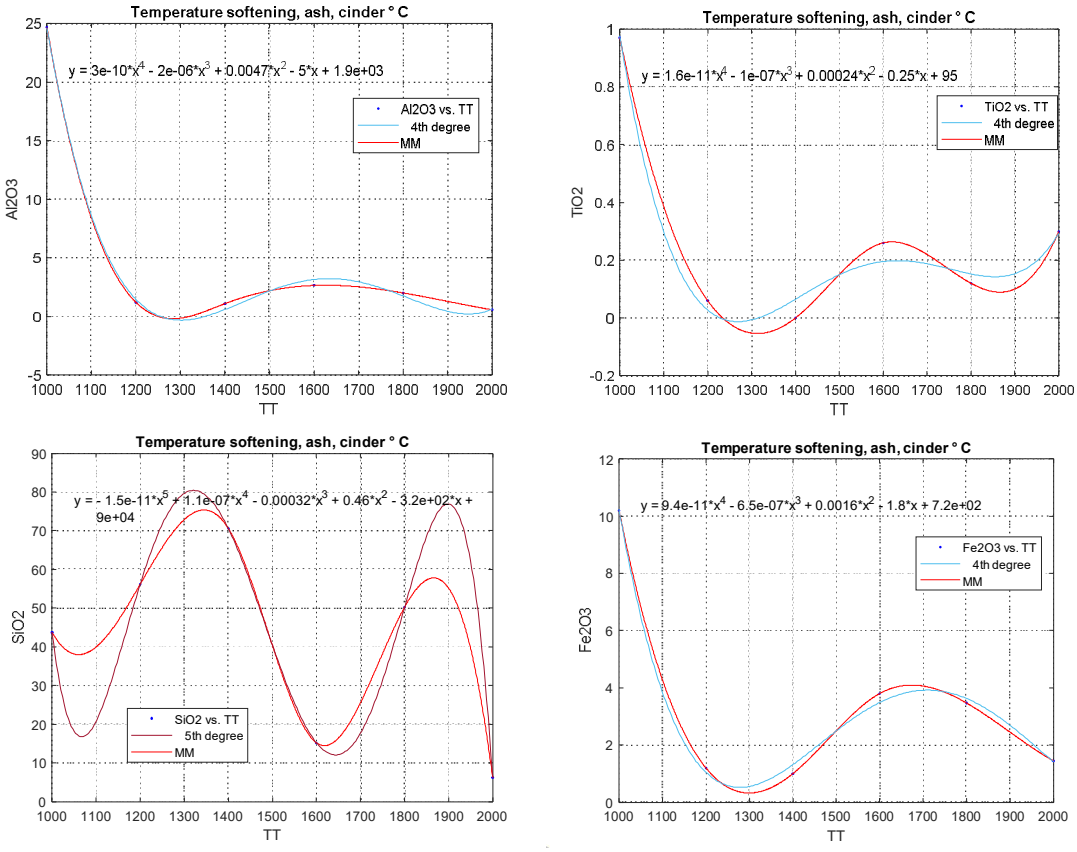
Fe_2O_3	10,2	1,2	1,0	3,8	3,47	1,45
CaO	5,8	6,5	7,5	37,3	23,81	81,24
MgO	3,8	3,0	2,5	8,5	4,56	4,81
SO_3	5,7	1,1	1,7	3,0	2,22	0,22
Na_2O	0,86	1,3	0,17	3,0	0,85	0,76
K_2O	3,22	23,7	12,8	8,6	11,97	4,11
P_2O_5	0,27	4,4	39,1	45,0	b.d.	b.d.
Temperature softening, ash, cinder ° C	1380	1140	1170	1420	1200	1370

The purpose of the simulation is to increase the efficiency of the dry electrostatic precipitator (EFF) by developing a comprehensive mathematical analysis of the physic-chemical composition of biogas. The mathematical model will allow you to carefully analyze the dynamics of gas cleaning. The development of mathematical dependencies based on the approximation of a polynomial makes it possible to find the functional dependence of the temperature and composition of particles in a gas, and further, to determine the resistance of particles from the temperature dynamics. Thus, the data developed models will help optimally manage. Like shaking time, like applying voltage.

The simulation was carried out on the basis of experimental data obtained at the facility. Ash temperature (^{0}C) was used as the initial data. Analysis of the share (%) depending on the temperature. With the help of the mathematical apparatus, models for different types of fuel were obtained and functional dependences are given in Table 3

Table 3 - the results of the study

№	Temperature softening, ash, cinder ° C	1380	1140	1170	1420	1200	1370
1	SiO3	y= 0.0042*x4-0.055*x3+2*x2-2x+1.4e+03					
2	Al2O3	y= 1.6*x4-58*x3+5e+02*x2-1.1e+03*x+1.8e+03					
3	TiO2	y= 1.1e+05*x4-1.7e+05*x3+6.1e+04*x2-6.5e+03*x+1.4e+03					
4	Fe2O3	y= 23*x4+3.9e+02*x3-1.9e+03*x2-3.5e+03*x-8.6e+02					
5	CaO	y= 1.7e+05*x4-1.7e05*x3+6.1e+04*x2-6.5e+03*x+1.4e+03					



Conclusion

The above differences in the physical and chemical properties of biomass and coal show the need to develop automation systems that effectively clean industrial gases from any fuel coming from power boilers [4, 5, 6, 7].

Conducted research in an industrial power plant that burns biomass, allowed to draw conclusions about the reasons for the increase in the content of combustible particles in solid by-products of combustion. They include [8, 9]:

- combustion of various types of fuel in boilers intended for burning coal,
- Poor mixing of the fuel fed to the combustion chamber, and the tendency of their self-lamination.
- Poor biomass milling adjustment.
- Too high level of mass participation of biomass compared to coal,
- physical-chemical properties of the fuel (often with high humidity relative biomass, different values of the calorific value of the fuel and the content of volatile particles).
- Lack of optimization of the burner and boiler, not considering the influence of the content of combustible particles.
- Incorrect air / fuel ratio in the mixture to be combusted.
- Too short residence time of particles in the combustion chamber,
- Lack of on-line measurements of the size of incomplete combustion in fly ash and slag.

References

[1] Niewczas B., Kita M.: Optimization of Combustion Processes Using Continuous Air-to-Air Combustion Measurement, Energetyka 11/2004, 731-737. [2] Wisz J., Matwiejew A.: Biomass-laboratory research in the aspect of suitability for energetic combustion, Energetyka 9/2005, 631-636.

[3] Khan A. A., de Jong W., Jansens P., Spliethoff H.: Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies, Fuel Processing Technology 90/2009, 21-50.

[4] Golec T.: Co-firing biomass in power boilers, Energetyka 7-8 / 2004, 437-445.

[5] Pyssa J.: Legal and ecological aspects of co-firing biomass with coal, Energy Policy 2/2005, 95-105.

[6] Rubio B., Izquierdo M. T., Mayoral M. C., Bona M. T., Martinez-Tarazona R. M.: Preparation and characterization of carbon-enriched coal Fly ash, Journal of Environmental Management 88/2008, 1562-1570.

[7] Zamorowski K.: Co-firing of biomass in a grate boiler (on the example of the examined object), Energetyka 1/2006, 41-46. [8] Popiel P.: Influence of Combustion of Biomass with Carbon Dioxide on Miton Loss, Work of the Institute of Electrical Engineering 249/2011, 69-80.

[9] Wójcik W., Popiel P., Ławicki T.: Analysis of combustible ash content in ash and slag by co-firing biomass with coal dust, Polish environmental engineering five years after joining the European Union, Polish Academy of Sciences Committee for Environmental Engineering T3, Lublin 2009, 273-278.

ON THE COEFFICIENT INVERSE PROBLEMS OF HEAT CONDUCTION IN A DEGENERATING DOMAINS

Jenaliyev M.T.[1], **Ramazanov M.I.**[2], **Yergaliyev M.G.**[1]

E-mail: muvasharkhan@gmail.com

[1] *Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan*

[2] *E.A.Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan*

Abstract. *In the report we consider a coefficient inverse problem for the heat equation in a degenerating angular domain. It has been shown that the inverse problem for the homogeneous heat equation with homogeneous boundary conditions has a nontrivial solution up to a constant factor consistent with the integral condition. Moreover, the solution of the considered inverse problem is found in explicit form. In conclusion statements of possible generalizations and the results of numerical calculations are given.*

Statement of the problem and main result. In the domain $G_T = \{(x,t) \,|\, 0 < x < t,\ 0 < t < T\}$, $T < +\infty$, we consider an inverse problem of finding a coefficient $\lambda(t)$ and a function $u(x,t)$ for following heat equation:

$$u_t(x,t) = u_{xx}(x,t) - \lambda(t)u(x,t), \tag{1}$$

with homogeneous boundary conditions

$$u(x,t)|_{x=0} = 0, \quad u(x,t)|_{x=t} = 0, \quad 0 < t < T, \tag{2}$$

suspect to the overspecification

$$\int_0^t u(x,t)dx = E(t), \quad |E(t)| \geq \delta > 0, \quad 0 < t < T, \tag{3}$$

where $E(t) \in L_\infty(0,T)$ is a given function.

The main result of the report is the following theorem [1], in which the criterion for the solvability of the inverse problem (1)–(3) is formulated.

Theorem. *The inverse problem (1)–(3) has a solution* $\{u(x,t), \lambda(t)\}$ *if and only if the following condition is satisfied*

$$sign\{E(t)\} = sign\{I[\varphi_0(t),t]\}, \quad \forall t \in (0,T), \tag{4}$$

where

$$I[\varphi_0(t),t] = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \left[2\exp\left\{ -\frac{\tau^2}{4(t-\tau)} \right\} - \exp\left\{ -\frac{(t+\tau)^2}{4(t-\tau)} \right\} - \exp\left\{ -\frac{(t-\tau)}{4} \right\} \right] \varphi_0(\tau)d\tau, \quad t \in (0,T),$$

$$\varphi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{t}} \exp\left\{ -\frac{t}{4} \right\} + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left[1 + erf\left(\frac{\sqrt{t}}{2} \right) \right], \quad t \in (0,T),$$

where $erf(a) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^a \exp\{-z^2\} dz$. Moreover, the solution $\{u(x,t), \lambda(t)\}$ belongs to classes

$$\begin{cases} t^{1/2}u(x,t) \in L_\infty(G_T), & \text{i.e.} \quad u \in L_\infty(G_T; t^{1/2}), \\ t\lambda(t) \in L_\infty((0,T)), & \text{i.e.} \quad \lambda(t) \in L_\infty((0,T); t). \end{cases}$$

Next, we consider the following possible generalizations.

First generalization. Replacing the law of variation of the boundary $x = t$ with $x = \sqrt{k}\,t$, $0 < k < \infty$, we obtain in domain $G_{Tk} = \{(x,t) \,|\, 0 < x < \sqrt{k}\,t, \ 0 < t < T\}$ the inverse problem for heat equation (1) with boundary conditions:

$$u|_{x=0} = 0, \quad u|_{x=\sqrt{k}t} = 0, \tag{5}$$

suspect to the overspecification (3).

Second generalization. Let $\mu(t)$ is a continuous nondecreasing function on the interval $(0, T)$. And let this function coincides with the linear function $\mu(t) = \sqrt{k}t,\ \ 0 < k < \infty$, on a sufficiently small subinterval $(0,\ t_0) \subset (0,\ T)$, where $t_0 \ll T$, it means, that on the interval $(0,\ t_0)$ the function $\mu(t)$ is differentiable, which derivative is equal to $\sqrt{k}$.

Now in domain $G_{T\mu} = \{(x,t) \mid 0 < x < \mu(t),\ \ 0 < t < T\}$ we consider the following inverse problem of finding a coefficient $\lambda(t)$ and a function $u(x,t)$:

$$u_t = u_{xx} - \lambda(t)u(x,t),\ \ \{x,t\} \in G_{T\mu}, \tag{6}$$

$$u_{|x=0} = 0,\ \ u_{|x=\mu(t)} = 0,\ \ \int_0^t u(x,t)dx = E(t),\ \ 0 < t < T. \tag{7}$$

Next, we divide problem (6)–(7) into the following two subproblems.

Problem 1. Find the solution of the inverse problem (6)–(7) in the triangular degenerate domain $G_{t_0\mu} = \{(x,t) \mid 0 < x < \sqrt{k}t,\ \ 0 < t < t_0\} \subset G_{T\mu}$, where $t_0 \ll T$.

Problem 2. Find the solution of the inverse problem (6)–(7) in a curvilinear (non-degenerate) domain $G_{t_0 T\mu} = \{(x,t) \mid 0 < x < \mu(t),\ \ t_0 < t < T\} \subset G_{T\mu}$, where $t_0 \ll T$ with an additional initial condition on the line $t = t_0$, which is determined by the solution of Problem 1 and given by the function $u(x,t_0)$. To solve this problem, we can use, for example, the methods of [2], [3].

Funding. *Supported by the grant projects AP05130928 (2018--2020), AP05132262 (2018--2020) and by the target program BR05236693 (2018--2020) from the Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan.*

References

1. Jenaliyev M., Ramazanov M., and Yergaliyev M., On the coefficient inverse problem of heat conduction in a degenerating domain. Applicable Analysis. 2018. P. 1–16. To link to this article: https://doi.org/10.1080/00036811.2018.1518523. Published online: 18 Sep 2018.

2. H. Li, J. Zhou, Direct and inverse problem for the parabolic equation with initial value and time-dependent boundaries. Applicable analysis. 2016. V.95, 6. P. 1307–1326.

3. J. Zhou, H. Li, Y. Xu, Ritz-Galerkin method for solving an inverse problem of parabolic equation with moving boundaries and integral condition. Applicable analysis. 2019. V.98, 10. P. 1741--1755.

PEDESTRIAN TRAFFIC SIMULATION

Kantureyeva M.A., Zakirova A.B., Akhmetova A.Zh.
Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Nur Sultan, Kazakhstan

***Abstract**: The paper deals with the features of pedestrian traffic modeling. When modeling pedestrian flows, some problems were solved. Practical applications of pedestrian flow modeling are described. Variants of the analysis at evacuation of people and examples of discrete-event modeling are given.*

***Keywords**: modeling, pedestrian, movement, continuous, discrete, process modeling.*

Pedestrian flow modeling is becoming increasingly important in the context of the growing population of large cities and the increase in the rate of construction of buildings. In many countries of the world, the modeling of pedestrian traffic is a mandatory step in the design of buildings, whether it is a shopping center, airport, train station or sports complex. For accurate and rapid solution of such problems it is necessary to use modern tools based on simulation technology.

In our work we use a library for modeling pedestrian traffic in physical space, which is based on many years of theoretical research and work which has been repeatedly tested in practice. The library allows you to model buildings in which pedestrians move, as well as streets and other crowded places [1], flexibly define pedestrian flows and animate them to make the model understandable to anyone. The library allows you to collect statistics on pedestrian density in different areas of the model, calculate how long pedestrians stay in certain spaces, and, which allows you to identify and eliminate problem areas.

When modeling pedestrian flows, we solve the following problems:

Calculation of the capacity of the premises. For example, you need to build a hypermarket, metro station, railway or air terminal. In this case, there is a problem: how to configure the room so that pedestrian flows do not interfere with each other, services cope with the load, and people feel comfortable.

Organization of pedestrian traffic. During the construction of amusement parks, museums, stadiums there are questions about the organization of the movement of people, for example: "Where to put a kiosk or Billboard?", "How to organize the process so that people standing in queues for tickets do not interfere with the passing crowd?". The larger the size of the room and the number of visitors, the more relevant these issues.

Analysis of evacuation options. When evacuating people behave aggressively, trying as quickly as possible to leave the danger zone. There is a question of the organization of pedestrian flows in emergency situations [2]. For this purpose, appropriate signs indicating emergency exits are used, in addition, special people are often responsible for the evacuation. Emergency simulation allows you to anticipate the problems that arise during the evacuation of people, and ultimately save lives.

Discrete-event modeling

The world around us is "continuous "rather than" discrete": most of the processes we observe are continuous changes over time. However, for the analysis of these processes it sometimes makes sense to abstract from their continuous nature and consider only some

"important moments" ("events") in the life of the simulated system. The approach to construction of simulation models offering to approximate real processes by such events is called "discrete-event" modeling (discrete event modeling).

Here are some examples of events: the buyer entered the store, the warehouse finished unloading the truck, the conveyor stopped, a new product was launched into production, the stock level reached a certain threshold, discrete-event modeling, the movement of the train from point A to point B will be represented by two events: departure and arrival, and the movement itself will become a "delay" (time interval) between them [3,4]. (This doesn't mean, however, that you won't be able to show the train moving - just the opposite, AnyLogic allows you to create visually continuous animations for logically discrete processes.)

The term "discrete-event modeling", however, is usually used in a narrower sense to refer to" process " modeling, where the dynamics of the system is represented as a sequence of operations (arrival, delay, resource capture, separation...) on some entity (entities, in Russian- transaction, applications) that represent customers, documents, phone calls, data packets, vehicles [5]. These entities are passive, they don't control their momentum, but can have certain attributes that influence the process of their processing (e.g., call type, complexity of the work) or accumulate statistics (total waiting time, cost).

Process modeling is a medium-to-low level of abstraction: here each object is modeled individually as a separate entity, but many "physical level" details (geometry, accelerations/decelerations) are usually omitted [6,7]. This approach is widely used in business processes, manufacturing, logistics, healthcare.

Before using this approach, we advise you to make sure that the simulated system (in terms of project goals) is really naturally described as a (possibly hierarchical) sequence of operations. You should always keep alternative approaches in mind; for example, if it is easier to describe the behavior of each object individually than to try to drive everyone into a common process, agent-based modeling may be the solution. Similarly, if you are only interested in General quantitative estimates of processes, and not the dynamics of individual objects, you may be able to describe the system in terms of system dynamics [8]. AnyLogic supports all three approaches, so you can freely experiment with the abstraction level while staying within the same tool.

Results of the study of the model of human movement

The results of the study of the movement of people

Security requirements for cultural and sports events are increasing every day – this task is becoming one of the most important for law enforcement agencies and for the organizers of the event.

The organizers are trying to make their stay at the event as comfortable as possible. The solution of these tasks allows to carry out the event most successfully. Safe management of large flows of people during their arrival to the venue of the event, the passage to the site of the event and exit from it is one of the key processes of the organization. The best way to assess the quality of such processes is through simulation models. Modeling transport processes, the main attention should be paid to the structure of passenger traffic (client groups, models of their behavior), its nonlinear growth and capacity of transport infrastructure. The main tasks of modeling associated with the arrival

and departure of people from the event site include the passage of groups through various obstacles that control the direction and regulate pedestrian flows (for example, turnstiles, doors, metal detectors, security barriers), the formation of queues and crush. The creation of such models is a clear tool for studying the features of the organization and management of both flows of people and transport. When analyzing the dynamics of these processes, it is possible to simulate critical situations in order to prevent them and take appropriate security measures.

The paper presents a review and analysis of many field observations of the behavior of real crowds, including the study of the dependence of the density, the speed of the crowd and the capacity of various structures on various external parameters. This work was performed in the program AnyLogis [8]. AnyLogic is a unique software product that supports all three simulation methodologies: system dynamics, discrete-event and agent-based modeling, as well as allowing to create multi-input models. AnyLogis includes a set of primitives and library facilities to efficiently model production and logistics, business processes and personnel, Finance, the consumer market, and the surrounding infrastructure in their natural interactions.

The model of organization of the stadium "Astana-Arena" is considered here. The stadium is primarily focused on football, and the owner of this stadium is the Football Club Astana, but can easily be adapted for other sports events, including favorite sports in the country – wrestling, judo and Boxing. The main characteristics of the arena on table 1.

Table 1. Main characteristics of the arena

Parameter	Value
Capacity (person)	30.000
Number of stands (unit)	4
Number of input groups (unit)	5
Full time of exit of all spectators from the stadium/time of evacuation of all spectators from the stadium (time)	15-10

Arena for 30 000 seats is conceived as a large amphitheater with a two-level structure: the lower terrace of 15 000 seats surrounding the playing field, and the top position in 15 000 seats surrounding the playing field, and the top position in 15 000 seats, overhanging the Western and Eastern sides. Everywhere unobstructed view of the field. The stadium has an artificial field and infrastructure of all premises adapted for world-class matches and concerts.

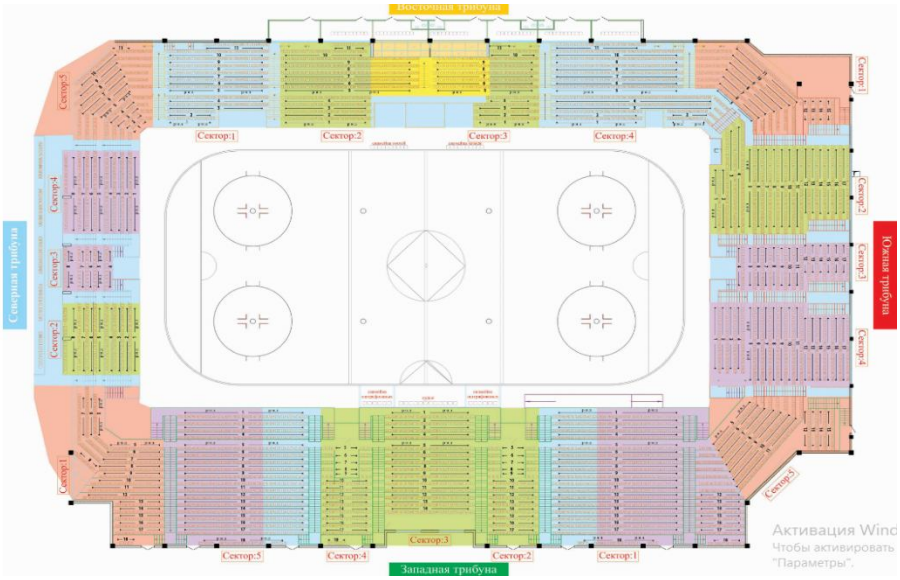


Fig. 1. Seating chart – Astana Arena in the city Nur-Sultan

In the lower part of the figure – the process diagram of the model in the notation UML (Unified Modeling Language), implemented in the software product AnyLogic 8.4. Pedestrian library model the motion of the fans in the physical space. Pedestrian traffic models consist of two components – environment and behavior. Under the environment refers to the objects of the physical environment – the walls, the different areas, services, queues [9]. The environment object is defined by a special graphical markup element that has parameters. Resources (services) are also objects of the environment [10]. Pedestrian behavior is determined by the logic of the flowchart. The flow of people passes through the metal, some people should go directly to the stadium. In this developed model there is a possibility of 2D-animation (figure 2).

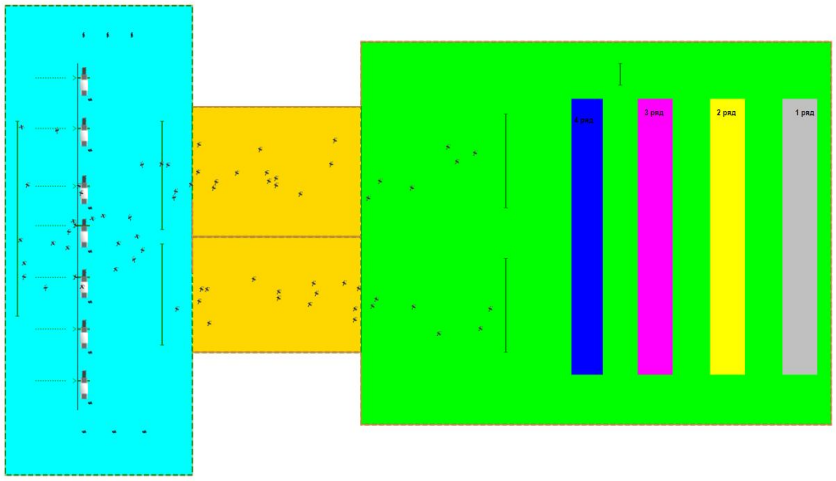


Fig. 2. 2D-schematically depicted models

Figure 3 shows the block diagram of the pedestrian traffic model. The flowchart contains the following pedestrian library objects: Ped-Source; PedService; PedGoTo; PedWait; PedSink.

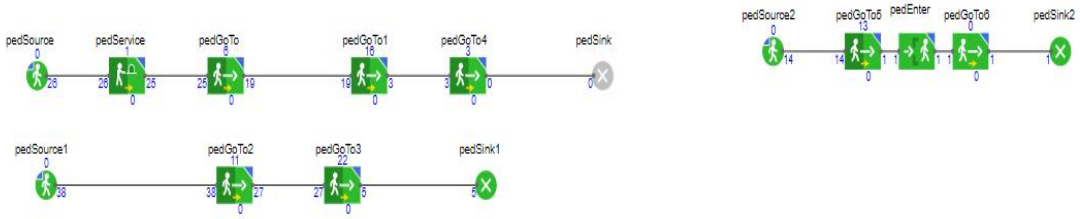


Fig. 3. The block diagram model

The following model uses 3D animation (Fig. 4). The figure shown in the schematic shows the crowd, there is an increase in the density of the crowd in the area adjacent to the entrance to the hall. As can be seen from this picture, even with the quiet movement of the crowd there is a congestion.

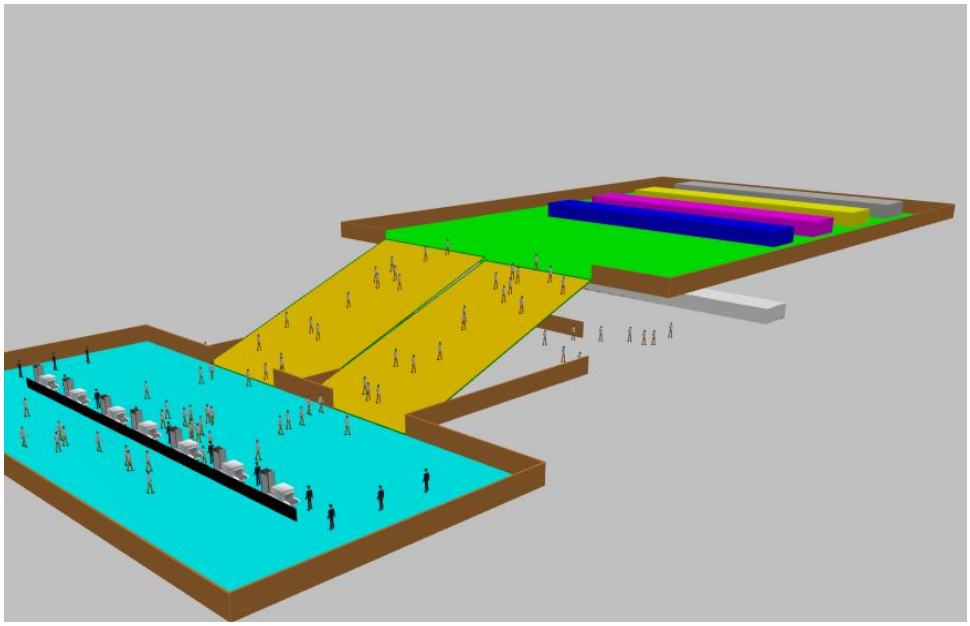


Fig. 4. 3D - schematic representation of the crowd

The computer model makes it possible to better understand the processes of pedestrian flows at the stadium, to visualize these flows, to calculate the capacity and the average time of pedestrians in the stadium areas.

Discussion of results

Despite the considerable possibilities, simulation in solving practical problems to date is not used actively enough. However, the creation of such models in some cases is vital, as it allows not only to analyze the processes in the dynamics, but also to simulate

critical situations in order to take appropriate measures to prevent them. When carrying out mass events, in particular sports events, considerable attention should be paid not only to organizational measures to ensure security, but also to the processes of simulation of the behavior of human flows, modeling the formation of queues, the consequences of emergencies of various nature.

The value of the model is that it is dynamic, can function both in real and in model time and allows by varying the key characteristics, parameters of the laws of distribution of random variables, input data to choose the optimal conditions for the mass event, to determine the required resources of staff.

Models such as the developed one should be linked in a single complex with other simulation models – traffic flows, crowd formation and behavior, the need for information traffic and data exchange, etc., which will allow the most complete and adequate study of complex organizational and technical processes that objectively arise in the preparation and conduct of mass events.

REFERENCE

1. Malinetsky G. G., Stepantsov M. E. the Use of cellular automata for modeling the movement of a group of people // Journal of computational mathematics and mathematical physics. 2004. No. 11. – pp. 2094-2098.
2. Bandini S., Rubagotti F., Vizzari G., Shimura K. A Cellular Automata Model for Pedestrian and Group Dynamics: Motivations and First Experiments // Parallel Computing Technologies. – Berlin Heidelberg: Springer, 2011. LNCS 6873. – pp. 125–139.
3. Stepantsov M. E., Modeling of dynamics of movement of a group of people on the basis of lattice gas with nonlocal interactions // proceedings of Higher educational institutions. Applied nonlinear dynamics, 7:5 (1999), - pp. 44-46.
4. Leng, B., Wang J., Zhao W., Xiong Z. An extended floor field model based on regular hexagonal cells for pedestrian simulation // Physica A. – 2014. – pp. 119–133.
5. Varas A., Cornejo M.D., Mainemer D., Toledo B., Rogan J., Munoz V., Valdivia J.A. A Cellular automaton model for evacuation process with obstacles // Physica A.: Statistical Mechanics and its Applications. – 2007. – pp. 631–642.
6. Kirchner A., Nishinari K., Schadschneider A. Friction effects and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics // Physical Review E. – 2003 May; 67(5 Pt 2):056122.
7. Bandini S., Gorrini A., Vizzari G. Towards an Integrated Approach to Crowd Analysis and Crowd Synthesis: a Case Study and First Results // Pattern Recognition Letters. – 2014. – pp. 16–29.
8. Zade L. A. the Concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. – M.: Mir, 1976. – pp. 165
9. AnyLogic (XJ Technologies) – URL: http://www.gpss.ru/systems/anylogic.html (accessed 20 October 2018)
10. Borschev, A. AnyLogic – a universal environment for modeling pedestrian flows [Electronic resource]. – Access mode : http://www.anylogic.ru/seminar-modelirovaniepeshekhodnykh-potokov.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

AUTOMATIC DEVELOPMENT OF TOPIC DICTIONARIES OF SOCIALLY SIGNIFICANT CONCEPTS

Meirambekkyzy Zh., Mussabaev R.R.

e-mail: jazirahanim@mail.ru, rmusab@gmail.com
Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The paper describes the problem of computer analysis of socially significant topics in the electronic news of Kazakhstan. It is proposed to select the types of news topics for further more accurate automatic classification of texts by topics. In order to cluster the texts according to their topics there are two methods: dictionary based and machine learning. In this paper, the first method is chosen and the method of developing topic dictionaries is presented, based on the analysis of semantic similarity using the co-occurrence matrix and the distributive semantic tool word2vec.*

Introduction

Starting from 60-70s of of the twentieth century dictionaries of different types were compiled with the help of computers, which were used to sort various materials. In the 80s of the twentieth century, work was carried out on the creation of dictionary databases, meanwhile other types of automatic dictionaries (thesauruses) were developed. As there is no accepted a uniform term for designed dictionaries, different designations such as "machine dictionary", "computer dictionary", "electronic", "automatic" in equal values are used [1]. In order to develop a dictionary of any type, it is necessary to create a general concept, its structure, the principles by which the organization of the material will be carried out. For the task of clustering news data and distribution by topic, the so-called topic dictionaries are needed. Each dictionary has a set of words and concepts related to a single topic or sub-topic. Many areas are difficult to determine unambiguously in one subject, therefore there is a need to build a hierarchy of topics. For example, the following terms *Kazakhstan, the Prime Minister* are universal ones, because they do not relate to a specific topic. But *football, Golovkin, Olympic games*, etc. are included in the topic "Sport". To describe the content of subject areas and topics in the news texts, the process of clustering texts by topics is necessary. Thesauruses, dictionaries could allow to more fully present the search content of the cluster. The purpose of this work is to study and to use tools for building conceptual dictionaries, hence we have considered techs that could analyze the subjects of the corpuses presented.

Structure of topic dictionaries

Our task is to form topic dictionaries with socially significant concepts. It is known that public opinion is mainly formed due to the activities of the media. Not all socially significant problems can be covered in the news, so readers may not be aware of their existence. As a result, the population has a distorted and incomplete picture of the really existing socially significant problems. It should be noted that the term "socially" in this context is not used in a broad sense, meaning everything that relates to society. In our tasks,

in a narrow sense, as a concept that covers only a certain part of social phenomena. For example, a variety of public spheres – economic, sociological, political, etc. according to sociologists the concept of "social significance" is used with different values. For example, in the article [2] education and health care are classified as socially significant, only based on scientific definitions of these areas. However, the author emphasizes that there is no single scientific definition of the concept among sociologists. The researcher identifies the main criteria of socially significant topics: (1) this concept expresses the importance(significance) of a number of social spheres, problems, (2) important target orientation, targeting of socially significant problems/topics. The author gives an example of socially significant education, health is significant for both society and for individual citizens. However, for our task of allocation of socially significant subjects, the indicator of this subject is directed to realization of interests of society and its valuable installations are. Thus, in our study we apply the following definition. Social significance of news aimed at reviewing the current social problems of society, which reported on the solution of any problem or event important for the society (new state program "Aleumettik kamkorlyk", the news of the death of 5 children in the capital, rallies on the day of the meeting "Nur Otan" elections). It is assumed that many socially significant topics, news should be resonant, with a large number of views, comments, because the article touches on problematic topics for society. However, we must take into account that the high-profile news also includes scandalous events, show business news, which, in fact, are not socially significant. Therefore, among the many high-profile news it is necessary to distinguish socially significant (*elections, meningitis, pension reform*) and scandalous-event (*stories with Bayan Esentaeva, show business,* etc.). High-profile articles are news that increase public interest, often scandalous events. An example of a resonant and at the same time socially significant event: all the news about the death of D. Teng. Social significance emerged after the event. Before the incident, the theme of "figure skating", "Denis Teng" were not socially significant, so this theme belongs to the dynamic. When processing news data and applying algorithms for topic modeling, it is necessary to take into account these 2 groups of news topics.

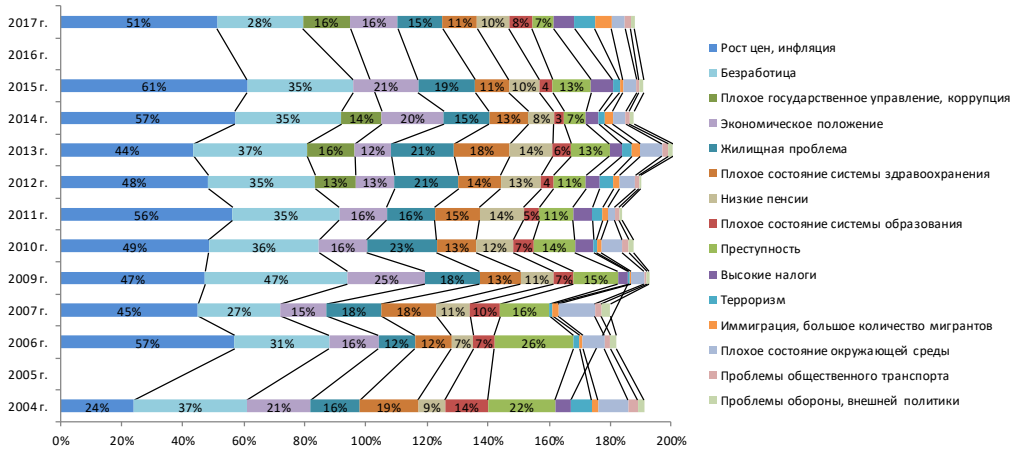


Table 1. Statistics according to the organization «Strategy»

The following algorithm of actions to identify socially significant news is proposed.

Resonance news (The most frequent topics (clusters) – a relatively large body) divided by:

⇨ **Scandalously event news**: 1. Dictionary of named entities (for example, the most popular names from show business) 2. Dictionary of named entities from socially significant topics

⇨ **Socially significant news** (The static dictionary)

Before developing a method that distributes socially significant news and topics in the text into separate clusters, it is necessary to form a certain list of them. In this problem, as one of the solutions, we rely on sociological research in Kazakhstan. According to the "center for social and political research "Strategy"[1], the following 15 main socially important areas can be identified. As you can see on the chart, their importance varies from year to year. For our technical task it is necessary to create a set of concepts, lemmas, which will be included in these areas, because in automatic text processing the search process takes place on formal basis, the more concepts can be included in one topic, the deeper the search results. For example, to the socially significant topic "price growth, inflation" in the topic dictionaries, we also include similar concepts: *depreciation, high prices, price increases*, etc.

All these socially significant problems we include in the group of static topics. Based on this study, it can be seen how these socially important topics persist for a long period with small changes in importance for the population in different years.

In addition to a set of socially significant topics, problems mentioned in the news, it is necessary to find out what role electronic news portals have in obtaining information for Kazakhstani citizens. According to a study by a group of sociologists, the preferences of Kazakhstani information channels from 2004 to 2017 led to the following results. The key issues are presented in Table 2.

Table 2. Distribution of answers to the question "What channels of information do You use most often to obtain information about the events taking place in our country?" (%)

Sources	2004 г.	2008 г.	2012 г.	2017 г.
The transmission of national television	78%	57%	37%	63%
Local television broadcasts	30%	48%	30%	17%
Central newspaper	36%	13%	10%	6%
Local newspaper	32%	29%	18%	8%
Radio	33%	16%	4%	9%
Conversations with relatives, acquaintances	18%	26%	23%	31%
Internet	4%	9%	31%	38%
Else	1%	0%	0%	1%
Difficult to answer	1%	1%	1%	1%

The data shows an increase in the interest of Kazakhstanis to the Internet as a source of information about the events, which also includes electronic news portals. In our future studies will be considered separately studies for 2018-2019 years. At the moment, the

[1] http://eurasiamonitor.org/

project has a news corpus with a depth of 7 years in the amount of 2 million 300 thousand documents of different news portals. All subsequent work and experiments will be carried out on this large corpus.

Our common task is to automatically highlight news on topics without the participation of expert assessments, connection of sociologists, annotators. Therefore, our task is to identify in advance the important properties of news data to account for clustering. Thus, we put forward the following hypotheses: (1) the frequency of topics/sub-topics in one cluster may determine the degree of resonance of the topic; (2) from a variety of high-profile topics/topics is supposed to allocate socially significant but topic dictionaries. (3) Socially relevant topics/subtopics within the cluster should be divided into static and dynamic. In this study, we started the experiments with the development of topic dictionaries.

Experiments

I Formation of topic dictionaries based on co-occurrence matrix

The work is based on a corpus of 200,000 tengrinews news articles. There are two approaches to solving the clustering problem by topic: dictionaries and machine learning algorithms. In this article, we present several ways to automatically generate topic dictionaries. The results of the hybrid method, which is more accurate, are presented in [5]. In the future, it is planned to compare both methods on the basis of our corpus of Kazakh news. Topic dictionaries were formed on the basis of the calculated matrix by the method of co-occurrence. Dictionaries were processed using the Python language (NLTK library), cleaned of unnecessary characters, brought into normal form. For lemmatization we applied the system Mystem. Unlike its popular counterpart – Pymorhy [6], the first tool to better recognize named entities inherent in local content. However, this method of automatic dictionary development requires further development as it requires manual cleaning. Of a 1,000-word dictionary, only 20% relate to a specific topic. The co-occurrence word occurrence method calculates how words occur together, i.e. captures the connection between words. Occurrence statistics are based on a simple idea – how two or more words are related in the same context. For example: *count* $(W_{next} | W_{current})$ represents how many times word W_{next} word $W_{current}$ follows the current, we can summarize the statistics of the joint occurrence of the words " Golovkin" and "boxing" as:

Table 3. Adjacency matrix of words

	sport	**boxing**	**airport**	**theatre**	**Kazakhstan**	**Gennady**	**Golovkin**
Golovkin	8	9	1	0	6	0	10
boxing	3	0	0	0	2	8	7

Table 3 shows the frequency of bigrams: the number of occurrences of 2 pairs of words. Such a table is very sparse, since most frequencies are zero. In practice, occurrence counts are converted to probabilities. This results in row records for each row being added one at a time in a co-occurrence matrix. In the future, research will be conducted with phrases, for example, we can calculate the number of occurrences of a pair of words in a

sentence, regardless of their position in the sentences. At the moment there are preliminary results of creating dictionaries socially significant topics (1) method: "benefits" (1000), "pension" (500), politics: "the President" (1000), for "sport" (700), the "culture" (500). Also, for the task of distributing news by topic, ready-made topic dictionaries in open access are used.

II Topic dictionaries based on word2vec

In order to generate topic words, we have conducted an important experiment for clustering text using word2wec. Unlike co-occurrence, this method does not consider the proximity of words, but the relationship between contexts. As noted in [7] it is important to increase the cosine proximity between the vectors of words of similar contexts and reduce the cosine proximity of words from different contexts. However, the accuracy of clustering is weak, so the words of one topic were not always collected in one set. Articles that are not related to this topic can be in one cluster. This is a problem not only of imperfection of the algorithm, but also of the complexity of the structure of media texts. One news article can include topics of accidents, offenses, murders, accidents, politics.

III Forming a dictionary of named entities using Regular Expressions

This linguistic method of forming a dictionary using Regular Expressions allows you to select proper names from the corpus-the so-called named entities. This dictionary is necessary for the task of separating surnames, names, names of geographical objects. For example, the named entity "Minister" can be expressed in various forms: Minister of education, Yerlan Sagadiev, Sagadiev, Minister of education and science, Minister Sagadiev, Minister.

Conclusion

In this study, we show different ways to automatically generate topic dictionaries. To begin with, we formed topic dictionaries of common topics: sports, politics. The next step to identify socially significant concepts and form their dictionaries. For the accuracy of the concept of social significance, we relied on the definition and results of sociological surveys of specialists. To form a dictionary, we used 3 ways. In the future, this work of developing topic dictionaries will be continued. Dictionaries will be used to cluster text using machine learning algorithms.

Acknowledgments

This research is conducted within the framework of the grant num. BR05236839 «Development of information technologies and systems for stimulation of personality's sustainable development as one of the bases of development of digital Kazakhstan»

References:

1. Volkov, Y. Y. Social relations and social sphere / Y. Y., Volkov – Moscow.: Journal "Social policy. Social structure", 2003. N. 5, – P.12–22.

2. Burmenko, T. D., Tarkhanova, E. G. The State of the sphere of socially significant services in the world (on the example of health care and education) / Journal "Socio-economic development and education", 2013, N. 13, – P.43-51.

3. Sidorova E. A. Russian research Institute of Artificial Intelligence/Technology of development of topic dictionaries based on a combination of linguistic and statistical methods // E. A. Sidorova – Novosibirsk.: Dialogue-2005 // International conference on computational linguistics and intellectual technologies, Moscow, 1-7 June 2015.

4. Bolshakova, E. I. On the principles of building a computer dictionary of General scientific vocabulary / E. I. Bolshakova – Moscow.: Dialog-2002 // International conference on computational linguistics and intellectual technologies, Moscow, 2002.

5. Tuzovsky, A. A. Development of an algorithm for automatic text categorization based on a combination of dictionaries combination of dictionaries, rules and methods of machine learning / Proceedings of the XIV International school-conference of students, postgraduates and young scientists // A. A. Tuzovsky – Moscow.: 2018, – P. 412-415.

6. Lyashevskaya O.N. et al. Ocenka metodov avtomaticheskogo analiza teksta: morfologicheskije parsery russkogo jazyka / Komp'juternaja lingvistika i intellektual'nye tehnologii: Po materialam mezhdunarodnoj konferentsii «Dialog–2010» // O.N. Lyashevskaya – Moscow.: Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of International Conference «Dialog–2010», Moscow, 2010 – Vol. 9(16)

6. Levchenko S. V. development of a method of clustering words by semantic characteristics using Word2Vec algorithms // S. V. Levchenko – Moscow.: Journal "New information technologies in automated systems", 2017, N. 20, – P.44-46.

CONTENT LANGUAGE INTEGRATED LEARNING

Oralov E.M.
e-mail: eldar.oralov@gmail.com
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan

***Summary**: CLIL is an acronym that stands for - Subject-Language Integrated Learning and is a method of learning in which some subjects are taught in foreign languages. Thus, the education of pupils in their mother tongue and the languages studied are integral and gives students the opportunity to develop language abilities.*

The notion of language immersion has broadly come out of CLIL 's international learning system. The term was coined by David Marsh (University of Yuvaskul, Finland) in 1994 "CLIL is relevant to situations in which subjects or part of subjects are taught in a foreign language and has the dual purpose of studying a subject while learning a foreign language."

CLIL is a term describing teaching techniques where subjects are taught in foreign languages. CLIL has two aims, namely, learning a subject through a foreign language, and a foreign language through a taught subject. CLIL is used in a variety of educational contexts, from the senior kindergarten group to higher education.

The use of a foreign language in CLIL education depends on the educational objectives and goals set. CLIL is a unique term - "umbrella," combining a number of approaches that apply in different educational contexts. There are a number of terms

describing different ways to implement CLIL, such as full language immersion, "language downpour," etc.

In defining the basic principles of the methodological approach of CLIL in different European countries, 4 main aspects are identified, covering the cultural and linguistic environment and aimed at solving thematic and educational problems. Each of the 4 aspects is implemented differently depending on the age of the learners, the socio-linguistic environment, and the degree of immersion in CLIL.

The idea of using the principle of subject-language integrated learning arose as a result of increased requirements for the level of foreign language proficiency with limited time allocated for its study. This problem is faced by teachers in almost all countries.

This approach allows two subjects to be taught at the same time, although the focus may be on either a language or a non-language subject.

Language learning becomes more targeted as language is used to solve specific communicative tasks. In addition, students have the opportunity to learn and understand the culture of the language studied, which leads to the formation of the socio-cultural competence of students. The student passes through a sufficiently large volume of language material, which is a full immersion in the natural language environment. It should also be noted that the work on the various topics allows the study of specific terms, defined language constructs, which contributes to the addition of subject terminology to the student 's vocabulary and prepares it for further study and application of the acquired knowledge and skills. The study of a foreign language and a non-language subject at the same time is an additional means for achieving educational goals and has positive aspects for both the study of a foreign language and the non-language subject.

To Use CLIL Subject Language Integrated Learning

In modern society, the socialization of the modern human being in the inter-ethnic and intercultural space becomes a priority, while the knowledge of foreign language is considered as one of the tools for expanding professional knowledge and opportunities. In this regard, new educational technologies are emerging to teach foreign languages. One such technology is Content and Language Integrated Learning (CLIL).

CLIL (Content and Language Integrated Learning) sees foreign language learning as a tool for learning other subjects, thus forming a student 's need for study, allowing him to rethink and develop his abilities in communication, including in his native language. The most common definition is CLIL-didactic methodology, which allows students to develop linguistic and communicative competencies in a non-native language in the same educational context in which they form and develop general educational knowledge and skills.

To date, many countries have successfully used CLIL in practice. In Hungary, for example, there have long been bilinguistic schools in which subjects are taught in a foreign language. CLIL has been used in Bulgaria for about 50 years and is of great interest to specialists working in this field. According to this method, bilinguistic schools teach subjects such as history, geography, biology, philosophy, and English, German, French, Spanish and other languages are used to implement the educational process. This technique is used in higher education institutions, which allows to train not only specialists in certain professional fields, but also specialists in foreign languages.

When designing the training course on the basis of this methodology, it is necessary to take into account 4 "C" of CLIL methodology: content, communication, cognition, culture.

In addition, when defining the basic principles of CLIL, five aspects are identified, each of which is implemented differently depending on the age of the students, the socio-linguistic environment and the degree of immersion in CLIL.

1. cultural aspect
2. social dimension
3. Language aspect
4. Substantive aspect
5. training aspect

The use of this methodology in practice has highlighted its advantages, as well as some problems of its introduction into the educational process. One of the main advantages of this technique is to increase motivation to learn a foreign language in students. Language learning becomes more targeted as language is used to solve specific communicative problems. In the situation of communication in a foreign language, students are unable to show their knowledge in specialized fields such as construction, pedagogy, medicine, art culture, etc., without knowledge of a foreign language. Which means they don 't have the ability to communicate in a professional context. Thus, the ability to communicate, in a foreign language in a professional context, becomes a priority. In addition, students have the opportunity to learn and understand the culture of the language studied, which leads to the formation of the socio-cultural competence of students. The student passes through a sufficiently large volume of language material, which is a full immersion in the natural language environment. It should also be noted that the work on the various topics allows the study of specific terms, defined language constructs, which contributes to the addition of subject terminology to the student's vocabulary and prepares it for further study and application of the acquired knowledge and skills.

CALCULATIONS OF EXCESS LOAD ON THE NETWORK

Sembiyev O.Z., Kemelbekova Zh.S., Umarova Zh.
ordabai@mail.ru, kemel_zhan@mail.ru
M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

Abstract. *Despite the constant progress in the field of network technologies, the problem of determining the necessary amount of network resources and ensuring the quality of user services remains relevant. Information transfer technologies in computer networks are technologies that provide high transmission rates of heterogeneous information (data, voice and video signals) over considerable distances. One such technology is the ATM network (Asynchronous Transfer Mode), i.e. asynchronous network. In this paper, we consider a mathematical method for calculating the excessive load of an asynchronous network in the transmission of information traffic by the method of switching channels and switching packets.*

At the moment, the state program "Digital Kazakhstan" is being implemented. Five main directions have been identified, the third of which is "Implementation of the digital Silk Road", aimed at the development of a high-speed and secure infrastructure for data transmission, storage and processing. The program, which will be implemented in the period 2018-2022, will provide an additional impetus for technological modernization of the country's flagship industries and will form the conditions [1].

As a basis for a high-speed and secure data transmission, storage and processing infrastructure, a broadband digital network with service integration can be used. The increase in the volume of transmitted information and the emergence of broadband channels created the prerequisites for the development of broadband digital networks with the integration of services (services) - W-ISDN (B-ISDN) [2]. Broadband well-protected from interference channels are created thanks to fiber optics. At the same time, the transmission speed of user information can reach tens of Tb/s. Such high-speed modes guarantee high quality of information transfer of various services (television, video on demand, multimedia messages, etc.).

The development of automatic switching technology, the mutual penetration of computer technology into communication technology and communication technology into computer technology led to the development of highly organized adaptive systems for managing communication networks, information flows and processes for servicing subscribers requests for information transfer. Such adaptive control systems ensure on the ATM network the elimination or weakening of the effect of emerging faults of individual network elements and changes in the time flows of information between subscribers and nodes of the network on the quality of customer requests and the quality of information transfer.

The quality of servicing requests for information transfer on the ATM network depends on a number of parameters that, when the ATM network operates, are usually determined in averaged form, and therefore these parameters are often called statistical [3]. The statistical parameters of the ATM network are understood to mean some average physical quantities characterizing the quality of service on the network. For the ATM network, the main statistical parameters are: the capacity of the branches (throughput) of the subnetworks of the circuit switching(CS) and packet switching(PS) in the ATM network, the structural reliability and survivability of the ATM network communication system, the magnitude and nature of the load as incoming to each hybrid node switching in the modes CS and PS [4], and the total load determined on each integral group path of the ATM network, the probability of losses on the branches and between each pair of nodes of the subnetwork CS, as well as the distribution of these losses along the paths and transit network nodes, the value of the average delay in the transmission of messages PC subnet as part of the ATM network.

When developing a model for calculating the statistical parameters of the quality of ATM network service, we will assume that basically this network is intended for transport through multimedia communication channels, that is, mainly for the transmission of video and audio information. This type of information uses the channel switching method, namely, before this information is transmitted, it is necessary to connect virtual channels between the corresponding subscribers of the network. Such a connection of virtual paths is provided by means of special packages called multichannel calls.

Quality of service on the subnetwork CS is usually estimated by the probabilities of losses on the branches of the network and it is known that the quality of incoming calls is characterized by the possibility of connections or the length of waiting for the provision of connections. There are two main ways of servicing incoming calls: lossless and with losses [5,6]. Lossless service is a discipline in which an incoming call is immediately serviced, and with losses, if the incoming call is either denied service or the service is delayed for some time.

Let for some time interval in a node-sender some call flow, destined to a node with the specified address arrives. In general, the address is the coded designation of the point of departure or destination of information data. The address of the object is determined by the number, code, phrase. The list of objects includes registers, memory cells, external devices, communication channels, processes, systems, networks. The recipient objects are usually called recipients. Often the address is associated with the name of the object. As a subnet CS traffic, a random flow of calls arriving in the ATM network to the destination node and intended for the destination node is considered, that is, the call arrival times are random values. In this case, it is assumed that the considered call flow is Poisson (the simplest flow), that is, the ordinary flow without aftereffect. It is known that the simplest call flow is the most common model of the real call flow used in queuing systems, including in teletraffic theory. Using the hypothesis of the Poisson character of the call flow allows one to most adequately reflect the process of processing of each service packet representing the connection request in the CS mode and obtain analytically expressions for calculating all necessary probabilistic and temporal characteristics [7]. Indeed, as noted when considering the principles of classification of call flows, a call flow that transmits in CS mode from a large group of subscribers is characterized by the absence of aftereffects. It can be considered ordinary, and when the time interval is limited and stationary.

One of the most important characteristics of switching systems is their efficiency [8,9]. As indicators of efficiency, along with economic indicators, a technical indicator such as capacity is widely used. Under the capacity of the switching system is meant the intensity of the load serviced by the switching system with a given quality of service. The throughput of the switching system depends on the amount of losses, the capacity of the bundles of lines included in the outputs of the switching system, from the method (scheme) of combining these outputs, the class of the call flow, the structure of the switching system, the distribution of the service time and the service discipline. The amount of losses is normalized either to the switching system as a whole, or for each direction of communication, or for sources of each category. The larger the allowable loss rate, the greater the throughput of the switching system and the poorer quality of communication.

The main purpose of designing a sub-network CS with roundabout directions is to determine the statistical parameters (probabilistic characteristics) that determine the quality of service on the subnet:

• The magnitude and nature of the total load (arriving at each branch or missed for each branch);

• The probability of losses on each branch;

• Loss probabilities between each pair of nodes, as well as the distribution of these losses along the paths and transit nodes of the subnet.

The listed parameters are calculated for the given ATM network structure, the gravity between the pairs of nodes and the static static distribution plan for the subnet of the CS. As a subnet CS flow, the flow of calls arriving in the ATM network to the sender node and intended for the gatekeeper is considered. In general, the address is the coded designation of the point of departure or destination of the data. The address of the object is determined by the number, code, phrase. The list of objects includes registers, memory cells, external devices, communication channels, processes, systems, networks. The recipient objects are usually called recipients. Often the address is associated with the name of the object.

Let $r_i(j)$ be the average intensity of the multichannel calls flow (MC) flowing into the ATM network to the sending node *i* and destined for the gatekeeper *j* [10]. The quantity $r_i(j)$ will be called the input load of the ATM network. It is the average value of the incoming load between the corresponding pairs of nodes in the NNP.

Let $t_i(j)$ – be the average intensity of the total flow of MC passing through the node *i* and destined for the node *j*. The quantity $t_i(j)$ – will be called the node load of the ATM network. It includes both the input load $r_i(j)$, and the loads $t_l(j)$, coming to the node *i* from all adjacent nodes *l*. At the preliminary stage of calculating the probabilistic characteristics of CS on the subnet, the following assumptions are usually assumed [11]:

• The initial call flows arriving at the network in the considered time interval are stationary and Poisson;

• The Poisson nature of the fluxes is retained both for excess and for missed loads;

• The system is in a state of statistical equilibrium;

• System with obvious losses;

• Losses in switching and control devices are not taken into account;

• Connection establishment time is 0.

These listed assumptions determine the degree of approximation of the model under consideration to the real subnetwork of the CS and the accuracy of calculating its characteristics. The initial data when determining the quality of service parameters on the subnet of the CS are (without taking into account the subnet of the PS):

• ATM network structure (location of nodes, capacity of branches);

• Input load for servicing in hour of maximum load between nodes of each pair of nodes;

• Plan for the distribution of flows on the subnet of the CS;

• The probability of loss between the nodes of each pair.

During the calculations, the following parameters are determined for the CS subnetwork [12]:

• Probability of losses on branches;

• Probability of load maintenance by each branch;

• The values of the total load (arriving at each branch, missed by each branch and excessive for each branch);

• Probability of losses in the average on the network (the ratio of the load lost on the whole network to the incoming for maintenance);

• The values of the loads served and lost in each transit node and the entire network as a whole.

Of the listed parameters, the most important are the probability of losses on branches or the probability of servicing by each branch [13], since the remaining parameters can be easily calculated through these quantities.

The order of selecting outgoing directions from the node *i* for transferring the load $t_i(j)$ to all other neighboring nodes, *i*. E. the plan for its distribution is represented by the matrix of routes M for the node *i*.

$$M_i = \begin{array}{c} \\ ik_1 \\ ik_2 \\ \cdot \\ ik_{S_i} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & \ldots & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \mu_{ik_1,1} & \mu_{ik_1,2} & \cdots & \mu_{ik_1,n} \\ \mu_{ik_2,1} & \mu_{ik_2,2} & \cdots & \mu_{ik_2,n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \mu_{ik_{S_i},1} & \mu_{ik_{S_i},1} & \cdots & \mu_{ik_{S_i},n} \end{bmatrix} \end{array}$$

In the matrix of routes, the number of columns is equal $n-1$ (the column in the matrix M_i for the node *i* is absent), and the number of rows are the number of nodes S_i, incident with the node *i*. The M_i matrix element $\mu_{ik_{S_i},j}$ is the sequence number of the branch selection (ik_{S_i}) when connecting to the node *j*, i.e. $\mu_{ik_{S_i},j} \in \{1,2,...,S_i\}$. If a set of routing matrices $\{M_i, i=1,n\}$, is specified, this means that an information distribution plan is defined for the entire subnet of the CS. With a static information distribution plan, static (fixed) routing in the CS subnetwork is performed [14]. However, the most efficient use of network resources is achieved with adaptive routing, when the information distribution plan changes in accordance with changing network conditions (overloads in certain directions or sections of the network, damage to canals or their bundles, damage to CS, etc.).

Let's assume that the switching nodes and the communication branches are absolutely reliable. Between each pair of nodes *i* and *j* the network, a number of routes for transmitting loads $L_{ij}, i=1,n, j=1,n,$ of the subnetwork of the CS are defined, which form a fully accessible beam. The load $t_i(j)$ can be serviced by any route l_{ik}, where the node k is an adjacent node k with respect to the node i, $k = 1,2,....$. The order of routes is determined by the route matrix. Each next route is handled if it is impossible to service the previous route route route. In each branch L_{ij} entering the route when servicing one message, one unused device is simultaneously engaged. In the absence of free instruments and any branch of one route, the path is considered to be blocked [15]. If all routes of the set l_{ik} are blocked, the load $t_i(j)$ receives a denial of service. Under the assumed assumptions, the subnetwork of the CS is a Markov system with a finite phase space whose state changes occur at discrete instants of time corresponding to the arrival times of messages to the subnetwork of the CS.

Let be the U_d set of admissible strategies for managing a network in a state $E_d \in E$. For a subnetwork with failures, two strategies are typical, since each $E_d \in E$ can accept one of the control (service) strategies - to service the message on a certain route matrix route, or for lack of free channels - to refuse service. We will assume that the management of the network $U = \{U_d, d = 0,1,2,..\}$ is Markov, then the functioning of the network can be represented as a controlled Markov process.

For more efficient use of the temporary channels of the path, modern automatic switching systems located on the nodes make it possible to use the roundabout ways (the paths of the subsequent elections) in addition to the main ways of establishing the connection (the way of the first choice) [16]. Assume that the branch (ik_1) is part of the path of the first choice. Then the bulk of the load distributed to this branch will be served by time channels m_{ik_1}, or we will say that the load is serviced by a branch (ik_1). At times when all the temporary branch channels (ik_1) are occupied, some of this load remains un-served and a branch (ik_2) that enters the path of the second choice is used for its servicing. As a result, the branch (ik_2), serves the total load, consisting of loads, both intended for it directly under the plan, and not served by the branch (ik_1). If the time channels of the branch (ik_2) are not able to completely serve this total load, then its remainder is transferred to the branch (ik_3), etc. This process will continue until all the outgoing directions *i* are used. If all these branches are occupied, the resulting load balance on the last direction will be lost. A load served by a branch is called missed, and vice versa, a load that is not serviced by a branch is not missing or redundant.

For clarity, the above described use of bypass directions of load transfer of the subnet CS will be illustrated on a fragment of the network, consisting of the *i*-th switching node and outgoing from it to neighboring nodes k_1, k_2, k_3 the direction of the load transfer t_i (Figure 1). Assume that the branches (ik_1), (ik_2) и (ik_3) and are part of the path of the first, second and third choice, respectively. Then the bulk of the load t_i with probability p_{ik} will be served by temporary channels, or in this case we will say that the load is serviced by a branch (ik_1). At the point in time when all the time channels of the branch (ik_1) are occupied, some $t_i(1 - p_{ik_1})$ of the load t_i will be served by the branch (ik_1) and this part will reach the node k_1. The other, the remaining part t_i, p_{ik_1}, from the load t_i will be blocked by the branch (ik_1) and for its servicing the branch (ik_2), entering the path of the second choice is used.

As a result, the branch (ik_2) serves the total load, consisting of loads, both intended for it directly according to the plan, and unloaded (ik_1) by the load $t_i\ p_{ik_1}$. If the time channels of the branch (ik_2) are not able to fully service this total load, then its maintenance balance $t_i\ p_{ik_1}\ p_{ik_2}$ is transferred to the branch (ik_3). Since the branch is the last possible direction of transmission, the remainder of the load $t_i\ p_{ik_1}\ p_{ik_2}\ p_{ik_3}$ after its maintenance is lost.

We introduce the following notation. Let $\mathrm{K_i(j)}$ - be an ordered set of such nodes k, which for address j form all outgoing from the node i of the direction of transmission (ik). In what follows, for quantities indicated by means of an index k, it is considered as $k \in K_i(j)$. The ordering of the elements of the set $\mathrm{K_i(j)}$ is made in accordance with the choice for the j - the outgoing direction of the priority order in the route matrix M_i. For example, let from the node i -network, represented in Figure 1, the order of load distribution $\mathrm{t_i(j)}$ is specified by the route matrix:

$$M_i = \begin{array}{c} \\ (ik_1) \\ (ik_2) \\ (ik_3) \\ (ik_4) \end{array} \begin{array}{c} \mathrm{j} \\ \left[\begin{array}{ccc} \cdots & 3 & \cdots \\ \cdots & 4 & \cdots \\ \cdots & 1 & \cdots \\ \cdots & 2 & \cdots \end{array}\right. \end{array}$$

In accordance with the elements of this matrix, the branch of the first choice path (ik_3) is first used. When it is overloaded, an excess flow is generated, which is served by a sequence of branches (ik_3), (ik_4) (ik_1) and (ik_2). Then set $K_i(j) = \{k_3, k_4, k_1, k_2\}$.

The amount of the missed or overload depends on the probability of loss of traffic $\mathrm{t_i(j)}$, distributed to the branch (ik). Let $j \in J$, where is J - the set of all destination nodes. Then for the multicast case, i.e. when the number of addresses $|J| > 1$, is assumed that the load balancing system CS located at each node operates in the mode of divided service (for each addressee separately). This means that on the branch (ik) the number of time channels $\mathrm{m_{ik}}$ is divided into bits $m_{ik}(j)$, each of which is a group of serving devices in the time cycle necessary for transferring the load only at the destination j.

We denote by $\mathrm{p_{ik}(j)}$ – the probability of loss of load $\mathrm{t_i(j)}$ on the branches (ik). Since the subnetwork CS is represented by a maintenance system with obvious losses, the value $\mathrm{p_{ik}(j)}$ takes values in the interval (0; 1] for each branch (ik), participating in the load $\mathrm{t_i(j)}$ transfer. If the branch (ik) does not participate in the transfer of the load $\mathrm{t_i(j)}$

, or $(ik) \notin L$, in this case, we assume that $p_{ik}(j) = 0$. The value $p_{ik}(j)$ will depend on the load distributed to the branch (ik) and the time channels m_{ik} allocated for its servicing.

The main purpose of constructing a subnet model of the CS is to determine the probability of losses $p_{ik}(j)$, on each branch (ik), according to which it is possible to calculate all the quality parameters of this subnet. Calculation of the probability of loss relative to each addressee in the CS sub-network with bypass directions is complicated by the fact that these probabilities in the general case depend on the loss probabilities in all other branches. This dependence, taking into account the given plan for the distribution of information flows, is represented by a complex system of nonlinear equations, which will be described below.

To simplify the form of writing such a system of equations, we introduce the following quantity. Let $\varphi_{ik}(j)$–the parameter characterizing the value of the excess load of the subnet of the CS for all branches preceding the direction, as desired (ik). In other words, the value $\varphi_{ik}(j)$ is the fraction of the load $t_i(j)$, coming into the branch (ik) in accordance with the distribution plan. It is equal to 0 if the branch (ik) is not used in any of the paths connecting nodes i, j and is equal to 1 if the branch (ik) is a branch of the path of the first choice. The share of the share $\varphi_{ik}(j)$ includes the probability of loss of all preceding branches (ik) of the trend. Let us denote $\overline{K_i}(j)$ by the set of such nodes $\overline{k}$, that from the node i form all outgoing branches (ik) outgoing directions. The value $\varphi_{ik}(j)$ represents the probability of employment by referral service (ik), i.e.

$$\varphi_{ik}(j) = \varphi_{i\overline{k}}(j)p_{i\overline{k}}(j) = \prod_{\overline{k} \in \overline{K}_i(j)} p_{i\overline{k}}(j) \qquad (1)$$

Since $p_{ik}(j) \in (0;1]$, then $\varphi_{ik}(j) \in (0;1]$, for all $(ik) \in L$. For example, for the network shown in Figure 2, according to the elements of the route matrix, the values $\varphi_{ik}(j)$ are:

$$\varphi_{ik_3}(j) = 1, \qquad \varphi_{ik_4}(j) = \varphi_{ik_3}(j) \cdot p_{ik_3}(j) = p_{ik_3}(j);$$
$$\varphi_{ik_1}(j) = \varphi_{ik_4}(j) \cdot p_{ik_4}(j) = p_{ik_3}(j) \cdot p_{ik_4}(j);$$
$$\varphi_{ik_2}(j) = \varphi_{ik_1}(j) \cdot p_{ik_1}(j) = p_{ik_3}(j) \cdot p_{ik_{34}}(j) \cdot p_{ik_1}(j).$$

The results. The product $\varphi_{ik}(j) * p_{ik}(j)$ is the proportion of the excess load on the branch (ik), which, depending on the load distribution plan, will be transmitted to other directions that are free for node i, and in the absence of such directions, it will generally be lost at the node i. In this case, the load $t_i(j)$ is considered lost in the node i, if the time channels are occupied on all outgoing directions (ik), $k \in K(j)$, где

$K(j)=\{k_1,k_2,...,k_s\}$, where s - the number of directions originating from the node i. In this case, the probability of $t_i(j)$ load loss $\Pi_i(j)$ in a node j is determined by the formula

$$\Pi_i(j)=\prod_{i=1}^{s} p_{ik}(j), \qquad \Pi_i(j)\in(0;1). \tag{2}$$

Depending on the load condition of each of the subnets included in the ATM network, it is possible to calculate the necessary parameters for the operation of each of the subnets, thereby determining the network resources of the ATM network in a given mode of servicing the subscribers connected to it. Thus, due to the effective redistribution of the bandwidth of the integrated circuits of the network, it is possible to achieve optimal parameters for the quality of service for subscribers of the ATM network; in this case the performance of the subnets CS and PS that are part of the ATM network is growing.

All these factors mentioned above, connected with the problem of optimal allocation of bandwidth between the subnets of the CS and the PS, ultimately significantly improve the efficiency of the integrated network, communication as a whole, and this actually makes the transition to the creation of more economical networks.

Note that since $p_{ik}(j)\in(0;1]$, then $\Pi_i(j)\in(0;1]$.

This article explores in detail the subnetwork switching channels, using the bypass direction of the flow of multi-channel calls. At the same time for subnetting the commutation channel is given the initial data of the problem of calculating probabilistic characteristics, list the characteristics that are determined in the process of solving the problem and describes some assumptions that allow to adequately approximate the study of such a model to the functioning of a real network. As a result, we obtained a mathematical model for calculating the loss probabilities, both for the communication channels and for the nodes of the circuit switching subnetwork that is part of the ATM network.

References

[1] «www.primeminister.kz».

[2] Olifer, V. Computer networks. Principles, technologies, protocols: A textbook for university students / V. Olifer. - St. Petersburg: Peter, 2012. - 944 pages.

[3] Kuzin, A.V. Computer networks: Textbook / A.B. Cousin. - Moscow: Forum, SIC INFRA-M, 2013. - 192 pages.

[4] Kuzmenko, N.G. Computer networks and network technologies / NG. Kuzmenko. - SPb .: Science and Technology, 2013. - 368 pages

[5] L. Kleinrock. Computing systems with queues, M.: Mir, 1979.-600 p.

[6] Kurouz, D. Computer networks. Top-down approach / D. Kurouz, K. Ross. - Moscow: Eksmo, 2016. - 912 pages.

[7] Bocker P. A digital network with the integration of services. Concepts, methods, systems. - M.: Radio and Communication, 1991. - 304 pages.

[8] Maksimov, N.V. Computer networks: Textbook for students of secondary professional institutions / N.V. Maksimov, I.I. Popov. - Moscow: Forum, SIC INFRA-M, 2013. - 464 pages.

[9] Olifer, V.G. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for high schools. The third generation standard / V.G. Olifer, N.A. Olipfer .. - St. Petersburg.: Peter, 2013. - 944 pages.

[10] Ashigaliev DU, Kalimoldaev MN, Kemelbekova Zh.S. Optimal distribution of channel resources for the transmission of mixed traffic over an integrated network // "Control and Information Technologies Problems" atyty halyaralyқ conference materials, NAS of the Kyrgyz Republic. - Bishkek: IAIT, 2010. - №2. - P.12-16.

[11] Jim Kurose, Keith Ross. Computer Networking. A Top Dawm Approach, 5th edition. Addison – Wesley, - 2009. - 862 p.

[12] Natalia Olifer, Victor Olifer. Computer Networks: Principles, Technologies and Protocols for Network Design. Wiley & Sons, Hardcover, England, - 2005. - 1000 p.

[13] A. Zayka. Computer networks. -M.: OLMA-PRESS, 2006. - 448 pages.

[14] Fratta L., Lazarev VG, Parshenkov N.Ya. Adaptive management of channel resources in the integrated digital communication network. Networks of packet switching of computers // IV council-italian seminars enbekteri, - Moscow: Nauka, - 1984. P. 59-63.

[15] Sembiev OZ, Kemelbekova Zh.S. Integration of information communication services in Kazakhstan / / "Auezov oqulary - 8: Young people - women's entrepreneurship", "economists", "women of negligence", attaches to the people of the Kyrgyz Republic. - Shymkent, 2009. - T.5. - P. 246-250.

[16] Joldasova MS, Kemelbekova Zh.S., Sembiev O.Z. Distribution of channel resources on the network by workarounds of transfer of loads in the channel switching mode // Auezov oyulary - 10: 20 zhyldyқ beles: gylym, bilim zhane madeniettin innovatsiyaliq damu bagyttary» Halykaralyq gylymy tazhiribelik konferentsiyanyn enbekteri. - Shymkent, 2011. - T.7. - P. 184-188.

MODELING INVESTMENT RISKS

Shakenova A.[1], Shakenova R.[2]
e-mail: shakenovaalua72@gmail.com
[1]*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
[2]*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

Abstract

The risk is the random variable, denoted by X_i. In simple words, it is a loss of company, firm, investor. We'll try to model the risk by beta-distribution which seems plausible approach in recent years. Here we define three distinct portfolios: Portfolio of assets by the set {A}, where A_i is asset; the portfolio of risks that is denoted by $P=\{X_1, X_2 \ldots X_n\}$, and finally the last portfolio {Y} which is portfolio of real profits.

Our task is to minimize the risk of assets, by minimizing the variance of assets. The risk function seems to be quadratic; hence the techniques from Multivariate Calculus and

decision theory are involved. Benefit-cost analysis is considered for the decision rule. The risk probabilities can be found through random simulations.

Keywords: *Risk, assets, portfolio, beta-distribution, benefit-cost analysis, simulations.*

Introduction

The companies, investors, firms investing in projects always face a risk. The higher profit is associated with higher risk. But most of rational people are risk-averse. However, there are also risk takers, who can lose a big amount of money, consider for example gambling in casino. Therefore it is wise to use optimal strategies with the aim to reduce amount of the risk for both rational players and risk takers.

From the history the risk is assumed to be binomially distributed [1].

$X_1, X_2, X_3, \dots X_n$ are independent and identically distributed random variables, risks. Portfolio of risks is {X}.

$$X = \begin{cases} 1, & with\ probability\ p \\ 0, & with\ probability\ 1-p \end{cases} \quad (1)$$

In other words, the loss occurs with the probability p and gain occurs with the probability (1-p).

The whole portfolio's risk

$$\mathrm{X} = \sum_{k=1}^{n} \mathrm{Xi} \quad (2)$$

Has a binomial distribution with parameters?

With E(X)=Np and Var(X)=Np(1-p)

$$\mathrm{N, p: P(X = k)} = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \quad (3)$$

Our suggestion in this work is to replace the binomial distribution by beta distribution, since they are similar, but beta was not considered often in the literature, few sources mention it [2].

Firstly, both binomial and beta belong to the family of exponential distributions, which are characterized by memory loss property. Assume that the future risk does depend on the actions in the present. The history is neglected which rises a lot of questions regarding the correctness and appropriateness of the model. Secondly, beta lies in the interval from 0 to 1 which squeezes our problem, we should not deal with large numbers as in the case of gamma distribution which interval goes to infinity.

Probability density function of beta variable is given by following formula, where gamma function is used.

$$f(x;\alpha,\beta) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}, 0 < x < 1 \quad (4)$$

The cumulative distribution function of X: Beta(α,β) is given by

$$I(\alpha,\beta) = P(X \le p) = \frac{Gamma(\alpha+\beta)}{Gamma(\alpha)Gamma(\beta)} \int_0^p x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}dx \qquad (5)$$

Its mean and variance are given by the formulas:

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \qquad Var = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta+1)*(\alpha+\beta)^2} \qquad (6)$$

Where, α and β are shape parameters of beta distribution. The family of beta-distributions is shown in Fig.1.

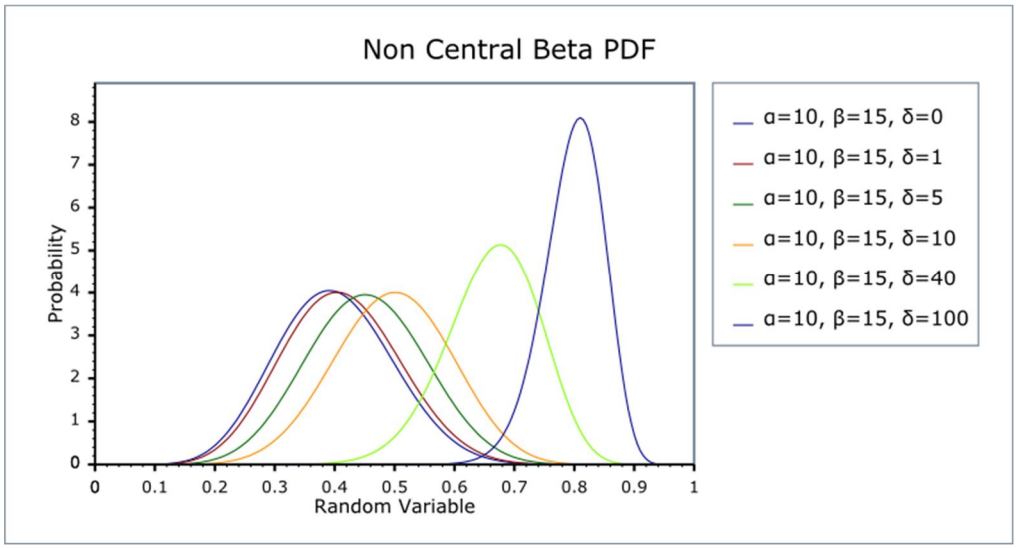


Figure 1. Family of beta-distributions

The memory less property cannot be applied to risk modeling and management because we cannot just neglect several significant factors even we cannot describe them. Ignoring may lead to oversimplification, so the model may not be accurate that should be avoided if possible.

I. Viewing risk as a simple neural network

A_1, A_2, A_3 … A_n are assets, so A is the portfolio (do not confuse with risk portfolio).

Expected values $E(A_i)$ are theoretical outputs.

Y_1, Y_2 …, Y_n are experimental results, real outputs. In real life they are profits (losses) of companies. $\{Y_i\}$ is the set of outputs.

Decision function $U(A_1, A_2, A_3, \ldots, An)$ is operator from the set {A} to the set {Y}.

The standard deviation is the spread-out of experimental results from expected values, and it should be minimized to minimize risk.

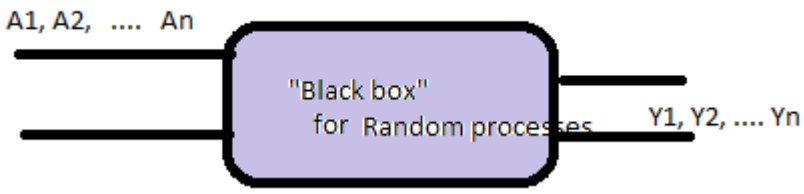


Figure 2. Simple input-output model

In the following example we demonstrate the values A_i and Y_i explicitly and show the benefit cost analysis as the decision rule to minimize risk.

Suppose the company E invests money in 3 companies B, C, and D. Its initial capital is 1000$. For a simple case assume that E does not have any historical information about the companies B, C and D, so it may invest the money without certain preference. Company B gets A_1=$500, company C gets A_2=$300, company D gets A_3=$200 as initial investments. After some time the profit of B is Y_1= $750, company C earns Y_2= $420 and D gets Y_3=$100. The total amount of earnings is 750+420+100= 1270 which exceeds investment. Overall, E gets more money than spent. Benefit-Cost ratio is equal to Y_i/A_i in each case, let w=B/C

w_B for company B is 750/500=1.5
w_C for company C is 420/300=1.4
w_D for company D is 100/200=0.5

Benefit-cost coefficient should be bigger than 1. So, according to benefit-cost analysis the decision rule is not to invest in project D. So, change the amounts of investments, ignore company D. Invest only in B and C. This is our strategy.

II. Minimizing the risk through variance

The risk can be minimized by minimizing variance [3]. We are taking the variance (square of standard deviation) in order to deal with positive values.

The general form of expectation for N assets

$$E(A)= p_1*A_1+p_2*A_2+ p_3*A_3+\ldots+p_n*A_n \quad (7)$$

Returning to our example the company E invests only in B and C companies, therefore we consider only expectation of two variables. Here, A_1 and A_2 both should not be equal to zero to have physical meaning.

$$E(A) = p_1*A_1+p_2*A_2 \quad (8)$$

Where, p_i is probability of gain, and q_i is the probability of loss, thus $p_i+ q_i =1$. We assumed that q_i is probability of beta distributed variable. We may randomly generate this probability using following algorithm:

1. Let λ to be random variable taken from uniform distribution (0, 1).

2. Take any probability density function f(a) such that its values will lie in the interval (0,1)
3. ξ is random variable determined by $\lambda = \int_0^{\xi} f(a)da$
4. Then $P(A<=a) \approx \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{p(\xi)}{f(\xi)}$

In order to reduce the risk our objective function is Z, which is quadratic with the following constraints:

$$Z = \min(A-E(A))^2$$

$$A_1, A_2 > 0$$

Plug in the appropriate values

$$Z=\min (A_1-E(A_1) + A_2-E(A_2))^2$$

$$Z=\min (A_1- p_1*A_1+A_2 - p_2*A_2)^2$$

$$Z=\min (q_1*A_1 + q_2*A_2)^2$$

The solution might be found using multivariate calculus (optimizing the function of two variables).

Solution: Just take partial derivatives and equate them to 0.

$$Z (A_1,A_2)= q_1^2*A_1^2 +2q_1q_2*A_1*A_2+ q_2^2*A_2^2$$

At the end we obtain

$$q_1*A_1 + q_2*A_2=0;$$

where, $A1= - \frac{q_2*A2}{q1}$

Conclusion

The paper defined the risk as the random variable. We suggested that the risk follows beta distribution, instead of binomial distribution previously used in the literature. We defined three distinct portfolios: Portfolio of assets - {A}, where A_i is asset; the portfolio of risks - P={X_1, X_2 … X_n}, and finally the last portfolio {Y} which is portfolio of real profits. We offered to consider the {A}->{Y} as the neural network. The problem was constructed to demonstrate what we meant explicitly. Our main task was to minimize the risk of assets, by minimizing the variance of assets. The risk function seemed to be quadratic; hence the techniques from Multivariate Calculus and optimization were involved. Benefit-cost analysis was considered for the decision rule. The risk probabilities were found through random simulations. In the future we need to find a link between experimental data {Y} and {A}. Probably they are connected by certain law. The knowledge of Information theory is required.

References

1. Shakenov K. Solution of Equation for Ruin Probability of Company for Some Risk. Model by Monte Carlo Methods/ In: Anastassiou G., Duman O. (eds) Intelligent Mathematics II: Applied Mathematics and Approximation Theory. Advances in Intelligent Systems and Computing. -Switzerland: Springer International Publishing, 2015.- pp. 169-182.
2. Aludaat K. M. On the beta cumulative distribution function// Applied Mathematical Sciences. -2018. - V.12.-N.10.-pp.461-466.
3. Engels M. Portfolio Optimization: beyond Markowitz. Master Thesis, Leiden University - 2004. - 134p.

SIMULATION OF HEAT AND ELECTRICITY CONSUMPTION BY SEPARATE ENTITIES BASED ON OPERATIONAL MONITORING SUBSYSTEMS

Sotnyk M.I.[1], Telizhenko O.M.[1], Drozdenko O.O.[1], Baistriuchenko N.O[1]., Koplyk I.V[1]., Abdildayeva A.A[2]., Zhukabayeva T.K.[2]

[1]Sumy State University, Ukraine

[2]Institute of informational and computational technologies, Kazakhstan

Introduction

Improvement of the management system of processes of consumption and saving of heat and electricity by separate objects (institutions) and branches of economy as a whole, envisages the creation of the regional-branch organizational-economic model.

It is necessary to take into account both the provision of information, planning and decision-making, the development of energy-saving concepts at all levels of government when creating a system for collecting information.

To develop the model, first of all, creates a calculated model of the research object. At the same time, the consumption system considers as a complex system that is influenced by external factors. The stochastic and deterministic components of the energy consumption model are determined. The next stage is the analysis of factors. Subsequently, it is needed to identify significant factors that influence the behavior of a complex system. Further creation of algorithms is carried out taking into account structural shifts caused by non-standard situations.

Analysis of existing research

Y. Zeng, Y. Zeng, B. Choi, and L. Wang (2017) investigate the problems of estimating energy consumption based on ADE-BPNN intelligent systems. In particular, is substantiated the dependence of energy consumption on socio-economic factors, are proposed some approaches to decision-making regarding the planning of the energy enterprise development strategy, as well as for the creation of national energy policy. F.

Zhang, C. Deb, S. Lee and others (2016) investigate the necessary and sufficient conditions for the use of electricity consumption forecasting models, namely the SVR, η-SVR and ε-SVR models. This model can use for both hourly and daily electricity consumption.

F. Zhang, C. Deb, S. Lee and others (2016) investigate complex ecological and economic problems of forecasting energy consumption, and greenhouse gas emissions during its production. The authors justify the use of ARIMA models. The use of such models will improve the accuracy of forecasting indicators to achieve the best practice of environmental quality management is proved.

Problems of modeling of energy consumption prediction for planning and energy optimization of buildings and campuses are devoted to scientific works C. Deb, F. Zhang, J. Yang and others (2017), M. Mat Dauta, M. Yusri Hassan, H. Abdullaha and others (2017). It proved that the benefit to households and grid operators of predicting electricity consumption in homes. A systematic analysis of energy consumption forecasting methods, including those based on artificial intelligence, has been carried out.

Problem statement

When developing a model of a complex system for managing the efficiency of thermal and electric energy, it is important to take into account the modes of operation of objects, climatic factors in autoregressive, structural and cointegration models that will reduce the uncertainty of forecasting energy consumption at individual sites and will create the preconditions for making short-term and long-term forecasts for making efficient energy use decisions with limited financial resources.

Research results

It is proposed to create an automated software complex to implement a system for collecting and analyzing information on the use of thermal and electricity education objects to support the management and decision-making system regarding the use and storage of heat and electricity.

As a web site implemented the monitoring system. The basis of the system is a database located on the server. It stores all manual and automatic counters and weather data. The database also stores all the constants and variables requires for the functioning of the mathematical model of the monitoring system.

The monitoring system includes the following interconnected subsystems that perform certain operations:

- subsystem for rapid collection of data on the current state of energy consumption of buildings;
- weather subsystem;
- information storage subsystem;
- short-term forecasting subsystem;
- data display subsystem;
- subsystem of a division of access rights;
- the archiving subsystem;
- reporting protocol generation subsystem.

As an example, the data acquisition subsystem implemented in the form of hardware for removing data from heat meters and additional sensors (temperature and pressure). The

subsystem also takes over the functions of transmitting data to the monitoring system server using GSM / GPRS wireless data technology. The data transmitted by the subsystem sent to the monitoring system. There they are immediately recorded in the database. From there, they can be taken for any time's period and for each object individually or together.

The weather collection subsystem implemented as a separate software module and located on the monitoring system server. The module collects current data from a weather site on the Internet. Current weather data is collected several times a day in automatic mode and stored in the database. Also, each day is collected forecast data for the next three days and recorded in the database.

The storage subsystem is a MySQL database management system (DBMS). The DBMS made in the form of a separate software module that installed on the monitoring system server and functions in conjunction with the above subsystems.

Short-term prediction and display subsystems implemented as a web-based resource available on the Internet for authorized access by a group of persons providing resource administration, operational management of the heating system, and viewing of accumulated data.

The access-sharing subsystem allows you to customize the monitoring system so that each user can see the system data only within their authority. A defined circle of users may have access to all objects in their area.

The archiving subsystem made in the form of a separate software module that performs archiving of data from the database to prevent loss of information in case of emergencies.

The report generation subsystem is open for access from the data display subsystem shell and is used to generate heat consumption reports from previous periods.

The scheme of information flows of the monitoring system presented in Fig. 1.

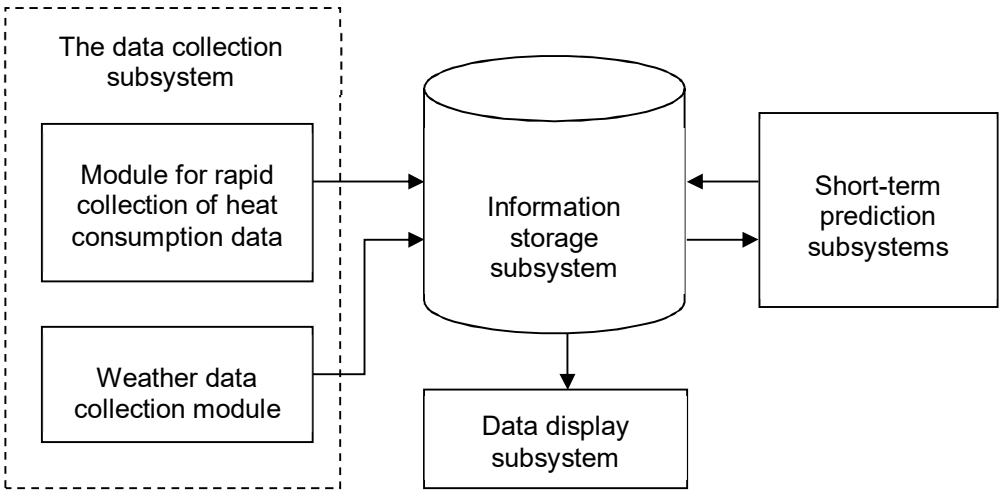


Figure 1 - Flow chart of the monitoring system information

Feasibility study of the efficiency of the heat consumption system

To summarize the results of the calculation of the actual state of the object under consideration for the energy efficiency of its operation, expressed in the final amount of

material costs, it is necessary to determine the actual specific consumption of thermal energy per 1 m^2 of a heating area or 1 m^3 of heating volume. The value obtained is an argument for justifying further actions for the implementation of the energy audited building, possible energy-saving measures, or changing the operating conditions of the heat supply system.

Specific thermal energy consumption for heating a home during the heating period q is the amount of thermal energy for the heating period required to compensate for the heat losses of a home, taking into account air exchange and additional heat inputs at the normalized parameters of the thermal and air modes of the rooms in it, assigned to the unit of the house SBN V.2.6-31:2006 (2013).

$$q_{буд} = \frac{Q_{ОП}}{V_{буд}^{от}}, \quad (1)$$

where

$Q_{ОП}$ – the amount of heat consumption of the house for the entire heating period (according to the credentials), кW·year;

$V_{буд}^{от}$ – home heating volume, m^3.

Specific heat costs for heating homes must meet the condition:

$$q_{буд} \leq E_{max}, \quad (2)$$

where

$q_{буд}$ – estimated or actual specific heat consumption;

E_{max} – the maximum permissible value of the specific heat consumption for heating the house during the heating period, кW year/m^3 SBN V.2.6-31:2006 (2013).

The maximum permissible value of the specific heat consumption for heating the house during the heating period according to SBN V.2.6-31:2006 (2013) is E_{max} = 31 кW·year/m^3.

As a result of the conducted researches, specific thermal energy costs for heating of educational establishments' buildings during the heating period were determined (Table 2).

Table 2 – Specific thermal energy costs for heating buildings during the heating period

№	Educational institution	Specific thermal energy costs for heating buildings during the heating period, kWyear /m^3
1	№1,	32
2	№6	31
3	№7	55
4	№17	110
5	№22	47

As the data in the table. 2, only condition № 6 is fulfilled (2). This state of all technological and structural elements that determine the energy efficiency of the process of creating and maintaining heat balance in other educational institutions should be considered unsatisfactory. Reasons for rejection are excessive heat consumption, violation

of comfort standards; emissions of excess thermal energy through ventilation systems into the environment, increase of hydrodynamic pressure in the pipeline system of heat supply, which leads to a decrease in the service life of its working elements, high material costs of operation, etc. This, in turn, determines the directions in the choice of energy-saving measures to improve energy saving in the examined heat supply system. At the same time, the consumption of the coolant occurs in the absence of proper management and monitoring of energy consumption.

Conclusions

Base on the analysis of thermal energy consumption during the heating period, it can be argued that the amount of heat consumption is reduced by increasing the average outside air temperature but not by improving the quality of operation of these systems. The lack of room temperature control contributes to the inappropriate loss of heat to the environment. That is why, to improve the efficiency of the use of fuel and energy resources, to introduce a system for monitoring energy consumption is recommended.

SUMMARY

Based on the energy audit, a feasibility study of the heat consumption system of educational institutions conducted. The specific heat energy costs for heating of buildings during the heating period and their deviations from the normative value were determined. Additional costs for implementation of the system of regulation of heat consumption were estimated.

References

1. Multifactor-influenced energy consumption forecasting using enhanced back-propagation neural network / Y. Zeng, Y. Zeng, B. Choi, L. Wang // Energy. – 2017. – Vol. 127 – P. 381-396. Link to: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217304759

2. Time series forecasting for building energy consumption using weighted Support Vector Regression with differential evolution optimization technique / [F. Zhang, C. Deb, S. Lee and oth.]. // Energy and Buildings. – 2016. – Vol. 126. – P. 94-103. Link to: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816303899

3. Sen P. Application of ARIMA for forecasting energy consumption and GHG emission: A case study of an Indian pig iron manufacturing organization / P. Sen, M. Roy, P. Pal. // Energy. – 2016. – Vol. 116, P.1. – P. 1031-1038. Link to: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216315043

4. A review on time series forecasting techniques for building energy consumption / [C. Deb, F. Zhang, J. Yang and oth.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 74. – P. 902-924. Link to: https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v74y2017icp902-924.html

5. Building electrical energy consumption forecasting analysis using conventional and artificial intelligence methods: A review / [M. Mat Dauta, M. Yusri Hassan, H. Abdullaha and oth.]. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 70. – P. 1108-1118. Link to: https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v70y2017icp1108-1118.html

6. SBN V.2.6-31:2006 « Thermal isolation of buildings » and SBN V.1.1-12-2006 «Building in the seismic districts of Ukraine». – K.: Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, 2006. – 72 p.

SOLUTION TO P-NP PROBLEM

Syzdykov M.
e-mail: mirzakhmets@gmail.com
ResearchGate™

Annotation. *In this short outlet, we will show that P and NP classes are equal in general basing on the simple observation of deterministic finite automata (DFA) conversion over the non-deterministic – NFA – within the constrained aggregators on an invariant non-polynomial machine giving a binary Boolean explosion in general case can be measured from the point of linear "plot" giving the existence of NP-2^N-classes of problems resulting in polynomial case derivative*

PRE-HISTORY

In [1] Stephen M. Cook presents the evaluation between P- and NP-classes of complexity: in general, it states that there's an observation that they could (or not) be equal along the algorithmic computation. In this article we will show that P and NP are equal within the functionality based upon the finite automata statement proposed in [2] that equally composed DFA can be transduced from the NFA by implementing counters or functions of equality so that the 2^N-classes of NP coincide with linear P-classes referred to the NFA.

Theory of noise described in [3] represents the *noise* as object of studying and methodology to measure the noise or operate in the situations where it's presented. The next section gives the necessary notation and formulation. It's all is aggregated by the fact that time-dependent information facts cannot be measured due to the changing situation which is defined as a *state*.

There is the list of used terms below.

Object – is an entity in the model towards which the methods and supported description is applied.

Objective Reality – is a view of the situation from the independent point. In mathematical sense it could be exampled by the *zero-operator* on a scalar plane.

Entity – is an aggregated object, which could be described using the proposed methodology. In this book we'll refer to own methodology, it will be described further specifically on the typical examples from *Computer Science*.

Situation – a common state of parameters and methods in the model describing the current state in the mathematical sense.

State – is a situation of an object or complex of objects relatively to the objective reality.

Noise – is an impacting element, which is to be detected and measured. This book gives later a good overview of how noise can be reduced to the canonical form according to which the complexity will expand.

Complexity – is a set of methods to detect the lower and upper bound of number of operations required to apply algorithm.

Algorithm – is a set of instructions, which are necessary to complete task or operation (*Sub-Algorithm*).

Computer Science – is a scientific and practical approach to study the complexity and set of problems.

Model – is a set of definitions and rules with mathematical apparatus required to describe situation or any other state.

Operation – is a set of instructions necessary to complete it or simply apply.

Fact – is a state which is stably appearing in the series of measurements of the model.

Mixing – is an operation of deducting the common golden state of two or more separated strategies to solve a problem.

Problem – is a set of undefined facts in order to solve them according to the methodology output.

Methodology Output – is a set of functions, operators and methods which give the final view of the situation with noise applied and unknown values set.

Strategy – is a complex of methods and algorithms which can be applied in games, where the only best player is chosen as a set of output for the proposed solution.

Space – is an entity within the model, including all the visible states or points towards which the complexity may expand.

Complexity – is an entity which describes the space in any possible notation.

By the methodology the term "set of methods" is hidden. Thus, the set of methods form the methodology by itself. Without doubt, this is to be seen relatively to the objective reality which can be either stable or unstable. The stability of this reality is measured as set of occurrences to the whole state space:

Golden Ratio = Occurences (State) / Total (State.Space).

This measure is very helpful as it gives us a view from formal point of view and, of course, the ratio which is needed in decision-making models, which are based on the decision branching. This could be better illustrated by the examples from real-life computing where branching was first proposed as an alternation methodology (in fact).

This would be better illustrated by the following sketch:

$$Decision\ [1..n] = F\ (Ratio[1..n])\ (over\ alternatives\ 1..n).$$

The state space is a derived term from theory of experimentation. There are number of good and well formulated methods like *Fischer*'s regression method [1]. In this method the definition of the state as a dimension is given. In this sense the dimension is formulated in product form giving an exponential space of size (a *Boolean*):

$$2^N,$$

where *N* – is a number of factors in the model which is defined as an experiment. Here's also required to note that factors have their minimal and maximal border of metrics. And it gives at least two values of range in factor:

*Factor [1] (Min..Max) *Factor [2] (Min..Max) *...*Factor[N] (Min..Max) = State.Space [2^N].*

From the more notable sense, the method also includes the divergence function between two values (please note that mathematical expectation *M(X)* of variable value is an average of this value):

Divergence (X, Y) = D(X, Y),
D(X, Y) = M((X-MX)(X-MY)),
*M(X) = Average (X * P(X)), where P(X) is a probability.*

Thus, we get a set of divergences between factors which give us a view for interpreting the results of experimentation. This is a very good formulation as it gives, in decision-making sense, the valuable information of how-to operate further. The method, however, needs the reduction due to *Boolean*-explosion of size 2^N. In this book the reduction's obtained by introducing the *control vector*. It could be better understood on the examples of application of this type of methodology. As we see, the noise can give us this reduction according to which behavior all the necessary information and data can be collected. Of course, this can be seen as a state of the art of methodology and research.

The product of dimensions will be further described as a single calculus on the infinite tree. With this tree it's possible to answer open mathematical questions like rationality of number *Pi* and representation of dimensions with degree of more than three (space).

As it was stated before, the mixing of noise is an operation of deduction the common golden ratio between the pairs of acting elements. There is a good example of how to illustrate it by the game of chess on the board where one strategy is playing against itself. Due to low expansion of methodology this typically leads to the dead-locks. This was noted when strategy used simple jeopardy-measurement functions in order to make the decision to take the next step. By the chance, it could be noted that randomness isn't a solution as it can lead to stable primitive strategies, due to which the dead-lock occurs. Thus, the randomness factor is good when we have elaborated the futuristic perspective of strategy.

From that point, the noise is to be introduced or applied as it can give us the opportunity to handle the situation and introduce the appropriate methods and algorithms as well as for the solution as for the model itself.

In the next section the parallelism is introduced according to the *hybrid noise mixing operation*. This operation is widely used in programming. As programming needs to implement such paradigm as a parallelism. This entity in working manner in this book is introduced by applying hybrid methodology, where parallelism is written in structural form as it's supported by programming languages.

Here we can discuss a bit the proposed differentiation theory in which the objective part is estimated more deeply by modeling the game of two kings (the dead-lock in mixing the strategies on the chessboard), i.e. when two stochastically multi-variable strategies are

playing one against another in circumstances of not fully acquainted information about game result and by the resources which are limited (for example, figures on the board).

Noise mixing plays important role in modeling the situation with communicating agents and decrementing values and functions (for example on time metrics). The model of utilitarian products consumption and overall hybridization is a good illustrative example for the previous statement.

It would be missing if the effects of noise mixing wouldn't be illustrated.

An effect of mixing training and adaptation of participating objects could be expressed from inverse function:

$$Mix\ (Training,\ Adaptation/Interaction) = X / X = X * X^{(-1)} = X * Frac\ (-1).$$

This is also could be explained as an interesting fact of going from subjective point of view to objective reality. This status of objective reality is aggregated by the fact of complexity growth and explosion in particular modeling systems.

Please note that in this book the "*"-operation means mixing of the operands, or simply noise mixing product.

Objective reality is better understood if one would bring an *objectivity* as a particular state of this reality. The objectivity can be expressed as a product if the relativism is introduced:

$$Objectivity = State.Space * Relativism.$$

There is a good example as an object-oriented programming (or simply OOP) in the mean of model. In OOP-sense it takes place that objectivity is to be converted into a model:

$$Model = F\ (Object[1],\ ...,\ Object[N]) * Object.Relations.$$

The NP-complexity has, however, the following relation:

$$NP = 1 * Model,$$

as unary element, NP-complexity, and its type (as it can belong to different subsets of model) forms together with model a class of, practically exponential, NP-complete problems.

RESULTING STATEMENT

As was stated before in [1] – *Can the P be equal to NP or vice versa*? – to answer this question the observation is constructed from [2] the basic law was defined in [3] stating that:

$$[NP] = [P] \times \{Constraints\}$$

In [4] the methodology was extended to the case of minus-operator in regex, where it was found that linear complexity still holds on as pre-determined in [7]. It's also found that the to the present time-known problem of back-references in regex can be solved in polynomial time with the usage of specific class of automata which are more similar to the

Petri-networks. The pre-determinism of DFA and NFA and their specific relation to each other is viewed from this reached point of view in [5, 6].

Thus, as the "pure" algebraic theory of Dantzig about convex dimensions in simplex problem similarly relates to the relation between P- and NP-classes of complexity resulting in that case that P is a slice of NP, i.e.

$$P = \text{sqrt}(NP) = NP^{(-1)}$$

Among the class of functions correlating with the problem where they are defined and can be of any matter and nature our next law states that:

$$g(F, [NP]) = t(F, [P])$$

where F is a set of functions over which the law holds true and "g" and "t" are arbitrary functions. The equation (3) would be the general meaning of the equations (1)-(2).

Thus we finally can state according to our main law that:

$$P = f(NP)$$

According to main theory and law we know that quadratic Euler plane is a 2-dimenional plot to which the following is true:

$$0^N = 0^n = 0$$

And limes for infinity doesn't exist, i.e.

$$f(x, \text{infinity}) < |LIM|$$

More correctly the equation (5) can be presented as follows

$$0^N = 0$$

$$0^n (\text{infinity}) = 0^n = 0*0*0*\ldots*0 \text{ (n times)}$$

In general, about set of irrational numbers, we have the following according to the P-NP law:

$$|\text{Irrational}| = \text{sqrt}(|\text{Rational}|)$$

The last equation (9) gives us more reasons to tell about Euler's theory of rational numbers as a metaphysical, meaning that he wrote about real existent objects like irrational numbers existing only physically which was partially described in [3] as a fractions of universal infinite fractal tree.

The practical experiments resulting in metaphysical effect or "jump" of complexity was observed by me when I was solving placement problem on the integral circuit which

is written in [8] – this work was presented on the conference about International Olympiads in Informatics and was held in Almaty, Kazakhstan.

CONCLUSION

Thus, the exact statement that P and NP-classes are equal along the algorithmic function is clearly devised from the previous work on finite automata and their application in overridden conversion between deterministic and non-deterministic so that the main equality holds true.

References

1. Cook, S. A. The complexity of theorem-proving procedures / S. Cook // In *Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing*, ACM, 1971, May. - PP. 151-158.

2. Syzdykov, M. Algorithm to Generate DFA for AND-operator in Regular Expression / M. Syzdykov // *International Journal of Computer Applications*, 2015 – Vol. 124, N. 8.

3. Syzdykov, M. *Theory of Noise with Applications: A Practical and Theoretical Guide* / M. Syzdykov // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.

4. Syzdykov, M. Methodology to Produce Deterministic Automaton for Extended Operators in Regular Expression / M. Syzdykov // *International Journal of Scientific & Engineering Research,* 2017. - Vol. 8 – PP. 1497-1500.

5. Syzdykov, M. Deterministic automata for extended regular expressions / M. Syzdykov // *Open Computer Science*, 2017. – Vol. 7, N. 1 – PP. 24-28.

6. Syzdykov, M. *Theory of Automata and State Complexity* / M. Syzdykov // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017.

7. Syzdykov, M. *Modern Perspectives of Computer Science* / M. Syzdykov // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018.

8. SYZDYKOV, M., & UZBEKOV, M. Ant Colony Optimisation Applied to Non-Slicing Floorplanning / M. Syzdykov, M. Uzbekov // *Olympiads in Informatics*, 2015, - Vol. 9.

SOLAR RADIATION CURVE FITTING BY USING POSITIVITY PRESERVING CUBIC SPLINE INTERPOLATION

Tunçbilek E., Arici M.

e-mail: tuncbilekekrem@gmail.com, muslumarici@gmail.com

Mechanical engineering department, Engineering faculty, Kocaeli University, Umuttepe campus, 41380, Kocaeli, TURKEY

Abstract. *Curve fitting plays an important role in the field of engineering. In this aspect, many methods have been used to represent the given data. However, it is also crucial that the preserving of the shape of given data should represent accurately the physical meaning of data. In this study, the significance of positivity preserving cubic*

spline is presented for curve fitting of solar radiation data. In order to demonstrate the requirement of the method, a comparison between cubic spline and positivity preserving cubic spline is made. The computed results showed that the utilization of positivity preserving cubic spline method is necessary to avoid unphysical results.

Introduction

Meteorological data are fundamental input to estimate the effects of climatic conditions on designing of transportation, agriculture and building systems. These data include parameters such as temperature, wind speed, humidity and solar radiation. One of the most important among these inputs is solar radiation data. It is specifically used in modelling and performance analysis of any kind of solar thermal systems. Therefore solar radiation data are needed to be measured and provided to the engineers and designers. However, solar radiation data are collected for discrete values along a continuum. When an engineer or researcher needs the points between discrete values, these interval values should be estimated by some mathematical approaches. Least-square regression or interpolation can be used for this purpose. Least-square regression method tries to give a regularized model which the curve does not fit perfectly for the data. On the other hand, interpolation achieves the same task by fitting a curve that fits perfectly for the data [1]. However, these methods alone are not enough for predicting the interval values accurately in the view of physical meaning of the data. The methods can produce some unexpected fluctuations and these fluctuations may lead physically improper results. Therefore, the shape of the solar radiation data should be preserved in order to represent the data with its physical meaning. For that purpose, this paper suggests the utilization of positivity preserving constraint. There are many studies in the literature that have been conducted to preserve positivity of the data [2-6]. Therefore in this study, cubic spline that was presented by Karim [6] is used to achieve preserving of positivity of the solar radiation data.

In order to demonstrate the necessity of the positivity preserving property, curve fitting is achieved for cubic spline and positivity preserving cubic spline for the same solar radiation data. The curve fitting performances of two methods are compared for the solar radiation data from Kocaeli and Almaty.

Cubic Spline

Cubic spline interpolation is based on the curve fitting of a-third order polynomial for each interval. Because of existing infinite cubic spline possibility for given two points, there should be some conditions. For *n* data points, there will be *n-1* interval that equal to the number of cubic splines. Each cubic spline has 4 coefficients (a_i,b_i,c_i,d_i). According to this, *4(n-1)* coefficients should be found to create cubic splines along all intervals. If the following conditions are satisfied, the coefficients and cubic spline for each interval can be found [7]. Where *i=1, ..., n*.

$$s_i(x) = a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 + d_i x_i^3 \quad (1)$$

Condition 1. The function must pass through all points:

$$s_i(x_i) = y_i \quad (2)$$

Condition 2. The function must have a continuous trend:

$$s_i(x_{i+1}) = s_{i+1}(x_{i+1}) = y_{i+1} \tag{3}$$

Condition 3. The first derivatives at the interval points must be equal:

$$s'_i(x_{i+1}) = s'_{i+1}(x_{i+1}) \tag{4}$$

Condition 4. The second derivatives at the interval points must be equal:

$$s''_i(x_{i+1}) = s''_{i+1}(x_{i+1}) \tag{5}$$

Condition 5. Assume that, the second derivatives at the boundary points are zero:

$$s''_1(x_1) = 0 \,\&\, s''_n(x_n) = 0 \tag{6}$$

The fifth condition which determines the end condition leads to what is termed Natural cubic spline. The satisfaction of presented conditions give *4(n-1)* equations to solve *4(n-1)* coefficients. Therefore, for *n* data points, *(n-1)* cubic splines can be obtained.

Positivity Preserving Rational Cubic Spline Method

For a given set of data points (x_i,y_i) where $i=1, \ldots, n$

Assume,

$$h_i = x_{i+1} - x_i \tag{7}$$

$$\Delta_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \tag{8}$$

And a local variable,

$$\theta = \frac{(x - x_i)}{h_i} \tag{9}$$

For x is defined $[x_1,x_n]$ and the shape parameters $e_i>0$ and $r_i>0$ while d_i denoting a given derivative value of x_i.

$$s_i(\theta) = \frac{P_i(\theta)}{Q_i(\theta)} \tag{10}$$

$$P_i(\theta) = e_i v_i \phi_0(\theta) + V_{i1}\phi_1(\theta) + V_{i2}\phi_2(\theta) + y_{i+1}\phi_3(\theta) \tag{11}$$

$$Q_i(\theta) = e_i(1-\theta) + \theta \tag{12}$$

$$\phi_0(\theta) = (1-\theta)^3, \phi_1(\theta) = \theta(1-\theta)^2, \phi_2(\theta) = \theta^2(1-\theta), \phi_3(\theta) = \theta^3 \tag{13}$$

$$V_{i1} = (2e_i + 1)y_i + \frac{e_i h_i d_i}{r_i}, V_{i2} = (e_i + 2)y_{i+1} - \frac{h_i d_{i+1}}{r_{i+1}} \quad (14)$$

In a set of solar radiation data points first derivatives are not known. Therefore, the derivatives should be determined by the help of a method. This method is suggested as arithmetic mean method (AMM) [8] by Karim, because of its suitableness to positivity preserving interpolation. Derivative estimation can be done successfully by arithmetic mean method as follows,

i=1

$$d_i = \Delta_i + (\Delta_i - \Delta_{i-1})\left(\frac{h_i}{h_i + h_{i+1}}\right) \quad (15)$$

i=2, …, n-1

$$d_i = \begin{cases} 0 \rightarrow \Delta_{i-1} = 0 \,\&\, \Delta_i = 0 \\ \dfrac{h_{i-1}\Delta_i + \Delta_{i+1}h_i}{h_{i-1} - h_i} \rightarrow \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

i=n

$$d_i = \Delta_{i-1} + (\Delta_{i-1} - \Delta_{i-2})\left(\frac{h_{i-1}}{h_{i-1} + h_{i-2}}\right) \quad (17)$$

Application of Methods

In order to compare presented methods, solar radiation data were obtained for Almaty municipality of Kazakhstan and Kocaeli municipality of Turkey. The solar radiation data for these cities were picked out throughout the year 2016 from JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [9]. These solar radiation data were chosen specifically to show the effective utilization of positivity preserving method respect to other alternative. Table 1 shows the solar radiation data for Almaty and Kocaeli in 21st of January 2016 and 22nd of February 2016 respectively.

Table 1. Solar radiation data [9]

Time(h)	Almaty - Solar Radiation (W/m^2)	Kocaeli - Solar Radiation (W/m^2)
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	1.77
7	0	229.97
8	0	449.33
9	9.12	620

Time(h)	Almaty - Solar Radiation (W/m^2)	Kocaeli - Solar Radiation (W/m^2)
10	272.87	738.32
11	417.03	792.77
12	555.58	779.19
13	566.48	699.3
14	580.77	558.18
15	543.81	364.7
16	413.77	133.33
17	268.5	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0

Cubic spline and positivity preserving cubic spline methods were used to fit curves the given data above. In Figure 1 and Figure 2, cubic spline method were employed to fit a curve for the given solar radiation data for Almaty and Kocaeli, respectively. As it can be seen in the figures, curves are violating the negative side of the y-axis thus not provide physically meaningful values.

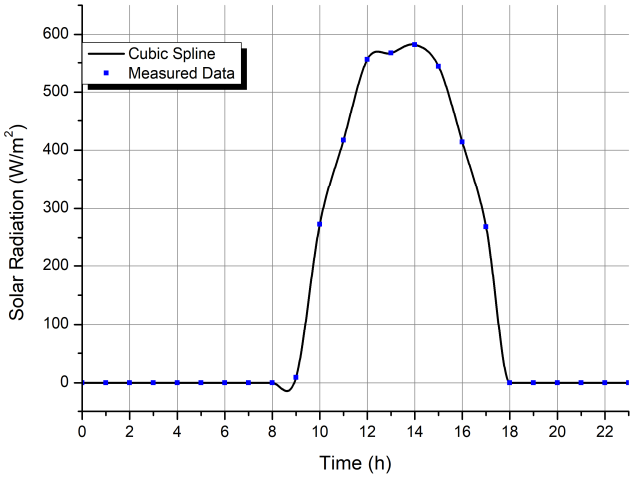


Figure 1. Solar radiation curve fitting for Almaty by cubic spline method

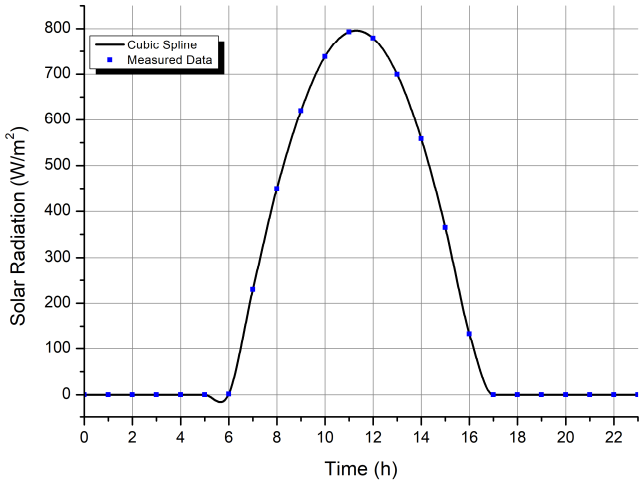


Figure 2. Solar radiation curve fitting for Kocaeli by cubic spline method

When the curves were fitted by positivity preserving cubic spline method, the negative values during the early hours of morning are eliminated. Figure 3 and 4 shows the positivity preserving cubic spline method while preserving the shape of the data for Almaty and Kocaeli respectively. It is obvious from both figures that in order to prevent non-physical interpolation values, a non-negativity cubic spline method should be employed.

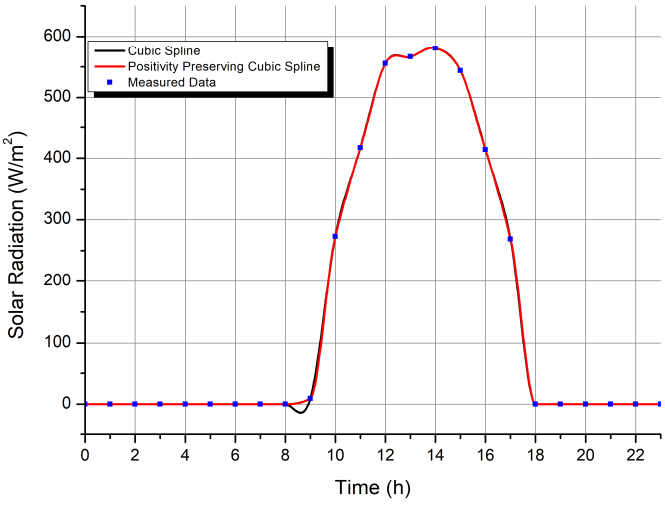


Figure 3. Solar radiation curve fitting for Almaty by positivity preserving cubic spline method

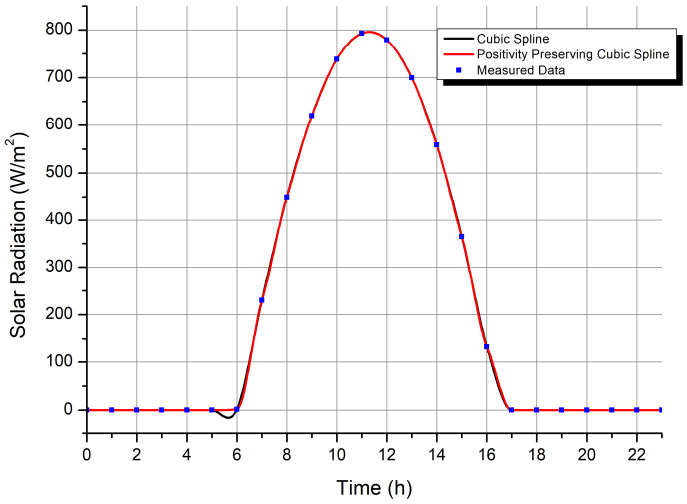


Figure 4. Solar radiation curve fitting for Kocaeli by positivity preserving cubic spline method

Conclusion

In this paper, curve fitting of solar radiation data was studied. Cubic spline and positivity preserving cubic spline method were used to fit curve to the data set. It was seen that the cubic spline does not always provide physically meaningful interpolation data during the sun rise time and positivity preserving cubic spline eliminates these unphysical results and provides meaningful values for the whole day. It was concluded that in order to assure the interpolated values always to be physically meaningful, a non-negativity cubic spline should be employed instead of conventional cubic spline one.

Reference

1. Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, Numerical Methods for Engineers, New York: McGraw-Hill, 2015.

2. Dougherty RL, Edelman A, Hyman JM. Nonnegativity-, Monotonicity-, or Convexity-Preserving Cubic and Quintic Hermite Interpolation. Mathematics of Computation. JSTOR; 1989 Apr;52(186):471.

3. Fischer B, Opfer G, Puri ML. A local algorithm for constructing non-negative cubic splines. Journal of Approximation Theory. Elsevier BV; 1991 Jan;64(1):1–16.

4. Hussain MZ, Sarfraz M. Positivity-preserving interpolation of positive data by rational cubics. Journal of Computational and Applied Mathematics. Elsevier BV; 2008 Sep;218(2):446–58.

5. Abbas M, Abd Majid A, Nain Hj Awang M, Md Ali J. Positivity-preserving C2 rational cubic spline interpolation. ScienceAsia. Science Society of Thailand - Mahidol University; 2013;39(2):208.

6. Karim SAA. Positivity preserving interpolation by using GC1 rational cubic spline. Applied Mathematical Sciences. Hikari, Ltd.; 2014;8:2053–65.

7. Ward Cheney, David Kincaid, Numerical Mathematics and Computing, Belmont: Thomson Higher Education, 2008, 2004.

8. DELBOURGO R, GREGORY JA. The Determination of Derivative Parameters for a Monotonic Rational Quadratic Interpolant. IMA Journal of Numerical Analysis. Oxford University Press (OUP); 1985;5(4):397–406.

9. "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)," [Online]. Available at: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#HR. [Accessed 11 Aug 2019].

CONDITIONS AND ASPECTS OF USE OF MULTIMEDIA TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TRAINING

Zhampeissova N.A.
nazko-05@mail.ru
L.N. Gumilyov Eurasian National University

Annotation: *This article analyzes the experience of using multimedia technologies in the educational process of higher education. Briefly examined the essence of the concept of "multimedia technology." Disclosed some features of studying at a university: the study of large amounts of scientific information, significant the proportion of students' independent work, a combination of educational and research activities students, professional orientation of training, a large proportion of control. Given features actualize the use of multimedia technologies in the educational process of higher educational institution. A detailed description of the multimedia article developed by the author is presented. A didactic complex in the discipline "Information Communication Technologies" for students with English as the language of instruction. This complex includes lectures with animation elements, control tests, interactive books, game simulators. The experience of using this complex gives reason to affirm the positive impact of such learning technologies on educational outcomes process in high school.*

Keywords*: multimedia technologies, educational process, features of higher education, educational institution.*

Currently, one of the promising areas for improving the educational process is the use of multimedia technologies. An analysis of the literature on research issues indicates a lot of different definitions of the concept of "multimedia" [1]. It seems appropriate in the context of our research to adhere to the following definition of multimedia - this is “modern computer information technology that allows you to combine text, sound, video, graphic image and animation (animation) in a computer system” [5]. This definition is largely "technocratic" in nature. If we turn to the didactic aspects of the phenomenon under consideration, then it is appropriate to recall that learning technologies that are part of social technologies are understood as “a way to implement the content of training provided for by curricula, representing a system of forms, methods and teaching aids that will ensure the most effective achievement of goals” [four].

Among modern educational technologies, computer technologies have occupied a special place in recent decades. It is legitimate to position multimedia teaching

technologies as a new stage in the development of computer-based teaching technologies [3], since they are based on the teaching capabilities of a computer and suggest the use of modern programming technologies. In the framework of this study, we define multimedia teaching technologies as multi-medium teaching technologies that allow us to effectively design and implement the content, methods and forms of training to achieve the goals of the educational process, involving the use of multimedia and interactive software and software.

The relevance of introducing multimedia technologies into the learning process is due to a number of advantages that can be obtained by using these tools: stimulating the cognitive interest of students, the integrated use of audio and visual effects in the learning process, increasing the level of individualization of training, increasing the information capacity of classes without compromising the quality of assimilation of material, involvement more channels of perception of educational information.

Features of the educational process in higher education, significantly distinguishing it from the school, determine the demand for multimedia technologies in the framework of almost all thestudied disciplines. Let us consider these features in more detail.

The educational process in a university is characterized by the study of large volumes of scientific information, which is a prerequisite for the preparation of competent specialists. The student is tasked not only with learning material, but also with an analytical study of significant amounts of information, since among the future activities, future specialists have a significant place in research, which involves working with large amounts of information.

The independent work of students plays a special role in the educational process. The modern educational paradigm considers the ability to self-education as priority symbols of learning, which involves the formation of skills and independent knowledge search, their independent acquisition. A modern university graduate who is expected to become a competitive specialist in demand on the labor market, capable of effectively solving non-standard professional tasks, is inconceivable without these skills. In this regard, the university should create the necessary psychological and didactic conditions in which a gradual transition from independent work of a student under the guidance of a teacher to actually independent work would take place. The formation of skills of independent work, of course, should occur simultaneously with the mastery of professional knowledge, the development of cognitive interest, the mastery of techniques and methods of scientific knowledge.

The specificity of the educational process in a university can also include a combination of training with research activities. The preparation of a competent specialist, capable of self-development, to participate in innovation, is impossible using only reproductive teaching methods, implying an elementary transfer of finished knowledge to students and the reproduction of the information received by them. It requires a reduction in the share of passive consumption of knowledge and an increase in the degree of students' activity in the independent creative search for new knowledge, discoveries, and non-standard solutions to problems. Gradually, the student’s share of independence in the competent formulation of the research problem, vision and analysis of possible solutions to it, a competent search for the most rational way to achieve the research goal, a critical and objective assessment of the results of the research work should increase.

The need for the closest possible approximation of the content and organization of the learning process to the upcoming professional activity determines the pronounced professional orientation of the educational process in higher education. The indicated feature of training is manifested in the specifics of the pedagogical tools used, which allow not only the formation of the necessary professional competencies, but also a value attitude to the future profession, a steady interest in the chosen type of activity, and personal qualities that are in demand in this profession. Among these tools should be mentioned active teaching methods (business games, case solving, project method, simulation modeling method, etc.), different types of practice (orientation, training, production, undergraduate), stimulation of various directions and forms of research , creative, independent work of students. The professional orientation of the learning process, in turn, contributes to the development of the professional orientation of the future specialist. Being a complex motivational education, reflecting the general attitude of a person to professional activity, the professional orientation of the student's personality largely determines the success of achieving the goals of study at a university.

In a number of didactic tools used in the educational process at a university, control takes a large proportion. The importance of control is increasing due to a decrease in the share of classroom studies in parallel with an increase in students' independent work. The role of the teacher in this situation undergoes a transformation: in the conditions of enormous information flows, he ceases to be only a source, carrier and distributor of knowledge, fulfilling to a greater extent the role of the leader [2], the subject of students' cognitive activity management, which necessarily assumes the implementation of the functions of monitoring the process and results learning. It seems important that students develop the ability to self-control, the ability to independently evaluate and timely adjust their learning process, which is an important component of young people's readiness for constant self-education. Without considering the sufficiently deep didactic basis of the educational process control procedure, we only note the importance of its motivational and diagnostic functions. In other words, control should not only allow obtaining the necessary information for an objective assessment of learning outcomes, identify gaps in the preparation of students for timely correction, but also stimulate cognitive interest, the need for systematic work, self-monitoring, student activity. Therefore, it is necessary to apply such methods and forms of control of the process and learning outcomes at the university, which really would allow to achieve these goals.

The above features of the educational process at the university explain to a large extent the relevance of using multimedia technologies. The use of these technologies creates the conditions for the transition from a passive to a truly active version of the organization of the learning process, in which the student becomes an active subject of educational activity, interested in achieving the goals of professional education. The possibility of interactive interaction, a high degree of implementation of the principle of visualization, rationalization of the use of educational time, the expansion of visualization of complex educational material, a wide range of impacts on the learning process and content, and much more, are undoubtedly the advantages of multimedia technologies, the use of which can significantly increase the effectiveness of the educational process.

In order to improve the learning process, we have developed a multimedia didactic complex in the discipline "Information Communication Technologies", designed for

students of technical specialties with English as the language of instruction. The didactic complex includes lectures with control tests, interactive books on each topic and training simulators (exercises in a playful way). Lectures and books were performed in the Macromedia Flash program.

Materials were created using animation elements, which greatly facilitated students' understanding of the graphical interpretation of information technology, and allowed them to focus on key points of the lecture content. This option provides an opportunity to visually build before the listeners a chronological sequence of events that describe certain technical phenomena, and contributes to their more successful memorization. The capabilities of multimedia allowed the inclusion in the content of some presentations of videos illustrating individual laws and principles, which, of course, positively affects the processes of perception, attention, and remembering. The system of hyperlinks used in the development of presentations creates convenient conditions for users to search for the necessary information posted in different sections.

The capabilities of this program made it possible to accompany each lecture with a control test of the corresponding content, which students had to perform in strictly limited time frames set by the teacher. In our program, three days after lecturing were allocated for this. This option allows you to discipline the work of students, motivating them to repeat the lecture material until it is forgotten. As part of the rating system for assessing learning outcomes, penalties can be provided for untimely completion of this task, or a decrease in the score for work.

When performing tests, the student has the opportunity to repeatedly access the content of the presentation, updating the educational material in his memory. Since when testing, the priority task facing us was to consolidate the material we passed, and the secondary task was to control the assimilation, students were given the opportunity to perform test tasks an unlimited number of times. If the purpose of testing is to evaluate learning outcomes, the program allows the teacher to significantly limit the time to complete test tasks and the number of attempts to answer questions.

At the same time, this program provides an opportunity to quickly evaluate the work of students: after completing the tests, the results are automatically sent to the teacher’s e-mail (we chose this particular notification option from the list of possible ones), which has the ability to see a detailed report on the student’s completed work - time taken to complete the test, the number of attempts to answer each test question, the mistakes made in testing. Such information allows not only to quickly assess the work of the teacher and student, but also the most important thing - to make the necessary adjustments to the content of classes, including practical and seminar ones, which follow lecture classes. The teacher can determine what issues it is advisable to dwell on in more detail, what points in the training material require additional explanation and analysis, with which of the students and which issues should be considered more carefully.

The content of any discipline always contains topics provided for students to study independently; lectures in the audience on such topics are not given, and students are forced to independently seek the literature recommended by the teacher, study it and report on the work done. In order to control the assimilation of such material, we also developed and offered students presentations with control tests. The time to complete these tests was

determined significantly more, and the number of attempts to answer questions was reduced, due to the objectives of testing independently studied material.

Evaluating the work done, it should be noted that the use of multimedia technologies in the learning process of students has great educational potential, allowing solving urgent pedagogical problems: it stimulates the cognitive activity of students, promotes a more solid assimilation of necessary information, and fosters discipline and responsibility among students. These technologies provide quite a lot of opportunities to make complex educational material more accessible for understanding and remembering. All this contributes to the development of the intellectual, creative potential of the student's personality, stimulates the development of critical, analytical thinking, accustoms to working with different sources of information, forms the skills of independent knowledge acquisition.

A survey of students - direct participants in the learning process using multimedia technologies - showed that they generally positively evaluate these learning technologies, noting that the classes themselves and the preparation for them are more interesting, material that is difficult to understand becomes more accessible.

At the same time, one cannot fail to note a number of points that must be taken into account and thought over before applying these training technologies. The development of a multimedia didactic complex is quite time-consuming, requiring the teacher not only a certain amount of time, but also a sufficient level of computer literacy. The advantage of this work is the fact that the created didactic complex in electronic form can be quickly changed for students of different areas of training and different forms of training. Particularly appropriate is the use of such a didactic complex for distance learning and distance learning.

Another significant point in the application of the described technologies is a clear understanding of the boundaries of the application of multimedia technologies. It is very important to prevent the learning process from becoming a complete entertainment, we must not forget that the training should be effective, not spectacular. Excessive use of multimedia technologies can increase the psycho-emotional burden on students, and thereby reduce the effectiveness of training.

Thus, multimedia technologies really contribute to increasing the efficiency of the learning process in higher educational institutions, integrate a powerful educational potential, and provide a favorable environment for the formation of competencies necessary for future specialists.

Literature

1. Akimova O.B. Possibilities of using multimedia in the educational process / O.B. Akimova, N.O. Vetlugin // Discussion. - 2014. - No. 9(50). URL: http://www.journal-discussion.ru/publication.php?id=1195 (accessed: 04/07/17).

2. Bubnov G.G. Higher vocational education in the coordinates of globalization / G.G. Bubnov, N.G. Malyshev, E.V. Pluzhnik, V.I. Soldatkin // Electronic journal Cloud of Science. - 2013. - No. 1. URL: https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2013_1.pdf (accessed: 04/07/17).

3. Krasilnikova V.A. The use of information and communication technologies in education: a training manual / V.A. Krasilnikova; Orenburg state un-t - 2nd ed. reslave. and add. - Orenburg: OSU, 2012 .-- 291 p.
4. Savelyev A. Ya. Higher education: State and problems of development / A.Ya. Savelyev. - M .: NII VO, 2001 .-- 120 p.
5. Starikov D.A. On the concept of multimedia technology and their use in the educational process / D.A. Starikov // Scientific researches in education: pedagogy, psychology, economics. - 2011. - No. 2. - S. 53-55.

АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРГЕ КЕҢ АУҚЫМДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОЛАР ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕН ҚҰРУ

Алимхан К.[1], Тасболатұлы Н.[2,3]
E-mail: keylan@live.jp, tasbolatuly@gmail.com
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан
[2]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Қазақстан
[3]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан

Аннотация. *Бұл жұмыста сызықтық емес жүйелер түсінігі анықталып, ізіне түсу мәселесін шешуде қолданылатын негізгі леммалар, алгоритм құрылды. Сонымен қатар, кері байланыс принципі негізінде робастты басқару, уақыт кешігуі бар жүйелерде ізіне түсу мәселелері қарастырылды. C++ және Matlab GUI бағдарламалары жәрдемінде ізіне түсу есептері орындалып, нәтижелер алынды.*

1. Кіріспе

Сызықтық емес жүйелерді бақылау мәселесі бірнеше онжылдықта ғылыми қоғамдастық тарапынан үлкен қызығушылыққа ие болып келеді. Алайда соңғы екі онжылдық көлемінде сызықтық емес бақылау теориясының әр түрлі әдістерін әзірлеу мен қолдануда айтарлықтай оң өзгерістер байқалуда. Бір жағынан, мұндай жетістік, сөзсіз, сызықтық емес процестерді тез және толық зерттеуге мүмкіндік беретін есептеуіш техникалардың қарқынды дамуымен және бақылау сапасына қойылатын талаптардың артуымен байланысты.

Сызықтық емес жүйенің жалпылама формасын келесі түрде анықтауға болады:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}^{p_i} + \phi_i(t,x,u),\ i=1,...,n-1, \\ \dot{x}_n &= u^{p_n} + \phi_n(t,x,u), \\ y &= x_1 \end{aligned} \tag{1}$$

мұндағы $x_i,\ i=1,...,n$ жүйенің күйі, $\phi_i : \mathbb{R}\times\mathbb{R}^n\times\mathbb{R}\to\mathbb{R},\ i=1,...,n$ - анықталмаған тегіс функциялар, u - кіріс шамасы немесе басқару, y - жүйе шығысы,

$p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \{p/q \in [0,\infty) : p$ және q бүтін сандар, $p \geq q\}$, $(i = 1,\ldots,n-1)$ жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді. Біздің мақсатымыз жүйелерде шекті уақыттан соң барлық күйлер шектелген аймақта болатындай және жүйенің шығыс шамасы y -ті көзделген тірек сигналдың ізіне түсіретін басқаруды табу болып табылады. Жүйенің шығыс шамасы y -ті бақылау қарапайым жағдайда «асимптотикалық» мәнге ие болады, яғни уақыт шексіздікке ұмтылған сайын бақылау қателігі нөлге ұмтылады. Бұл асимптоталық бақылау мәселесі уақытқа байланысты инвариантты сызықтық жүйелер үшін шамамен 40 жылдан аса уақыт бұрын толығымен шешімін тапты [1],[2]. Ал сызықтық емес жүйелер үшін тиісті проблема, соңғы 30 жыл көлемінде бірқатар зерттеушілер тарапынан зерттелініп келеді [3]-[9]. Күйі бойынша кері байланысты басқарумен салыстырғанда, шығыс шамасы бойынша кері байланысты басқару теориясы баяу дамыды, себебі сызықтық емес бақылаушыны жобалаудың жалпы және тиімді әдісі жоқ. Көптеген сандық есептеулерде бақылау процесінің өз деңгейінде орындалуын анықтау мақсатында тірек сигналы (*опорный сигнал – reference signal*) қолданылады. [4]-[7] еңбектерде тірек сигналы тұрақты саналатын қарапайым жағдай қарастырылған. Кейінірек сызықтық емес жүйелер үшін тірек сигналдары уақытқа байланысты өзгеріске ұшырайтын жағдайды алғаш рет А.Исидори және С.И.Бирнс [8] зерттеді.

Жоғарыда келтірілген жұмыстарда сызықтық емес жүйенің Якобиан сызықтандырылуы орнықтанады және анықталады деп болжам жасалады [10]. Осы екі болжам күйі немесе қателігі бойынша кері байланыс арқылы сызықтық емес жүйені реттеу мәселесін шешуде негізгі ұйғарым болып табылды. Алайда, сызықтық емес жүйелердің сызықтандырылған жүйелері орнықтанбайтын және/немесе анықталмайтын жағдайында бақылау проблемасы және тіпті орнықтандыру проблемасы әлдеқайда күрделі және шешу қиын.

Салыстырмалы түрде жақында жарық көрген еңбектерде ғалымдар [12], [13] практикалық бақылау мәселесін (1) жүйеге қарағанда келесі түрдегі аздап өзгертілген жүйеге қатысты зерттеді:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= x_{i+1}^p + \phi_i(t,x,u),\ i = 1,\ldots,n-1, \\ \dot{x}_n &= u + \phi_n(t,x,u), \\ y &= x_1 - y_r \end{aligned} \tag{2}$$

Авторлар бұл еңбекте Ян және Лин [11] сипаттаған әдіске ұқсас әдісті пайдаланып, әлдеқайда еркін шарттар қою арқылы шекті тірек сигналына қатысты шығыс шамасын кең ауқымды робастты практикалық бақылауды шығыс компенсаторы арқылы қол жеткізуге мүмкін болатындығын дәлелдеді. Ол шарт бойынша:

$$\left|\phi_i(t,x,u)\right| \leq C_1\left(\left|x_1\right|^p + \ldots + \left|x_i\right|^p\right) + C_2,\quad i = 1,2,\ldots,n \tag{3}$$

мұндағы, $C_1 \geq 0,\ C_2 \geq 0$ константалар. Мұндағы (3) өсу шарты қосымша константа $C_2 \geq 0$ қосу арқылы қатаң емес шарт болып табылады және бұл шығыс компенсаторымен практикалық бақылау мәселесін шешу үшін маңызды рөл ойнады.

2. Негізгі математикалық алғышарттар

Бұл мақалада келесі біртекті функция анықтамасын және бірнеше пайдалы леммаларды қолданамыз.

Біртекті жүйе – сызықтық емес жүйелердің арнайы класы және келесі түрдегі жақсы қасиеттерге ие:

1) жергілікті асимптоталық орнықтылық кең ауқымды асимптоталық орнықтылықты білдіреді [76].

2) жоғары реттілік мүшелерінің өзгерісі кезінде жергілікті орнықтылық өзгермейді [76].

Анықтама ([16]). $x=(x_1,\ldots,x_n)\in R^n$ координаттар жиыны және n-өлшемді $r=(r_1,\ldots,r_n)$ оң нақты сандары үшін біз келесі анықтамаларды енгіземіз:

(i) $\Delta_s(x)$ кеңейтуі бейнелеу болып табылады және $\Delta_s(x)=\left(s^{r_1}x_1,\ldots,s^{r_n}x_n\right),\quad \forall s>0$ түрінде анықталады. Мұндағы, r_i - координаттың салмақтары деп аталады. Бейнелеу қарапайымдылығы үшін, кеңейту салмағы $\Delta=(r_1,\ldots,r_n)$ арқылы белгіленеді.

(ii) $V\in C\left(R^n,R\right)$ функциясы τ біртекті дәрежелі деп аталады, егер мұндағы $\tau\in R$ нақты сан келесі түрде бар болса $V\left(\Delta_s(x)\right)=s^{\tau}V(x_1,\ldots,x_n),\quad \forall x\in R^n-\{0\}$.

(iii) $f\in C\left(R^n,R^n\right)$ векторлық өріс τ біртекті дәрежелі деп аталады, егер мұндағы $\tau\in R$ нақты сан $i=1,\ldots,n$ үшін келесі түрде бар болса $f_i\left(\Delta_x(x)\right)=s^{\tau+r_i}f_i(x_1,\ldots,x_n),\quad \forall x\in R^n-\{0\}$.

(iv) Біртекті p -норма $\|x\|_{\Delta,p}=\left(\sum_{i=1}^{n}|x_i|^{p/r_i}\right)^{1/p},\ \forall x\in\mathbb{R}^n,\ p\geq 1$ түрінде анықталады.

Әрі қарай, біз басқарудың соңғы нұсқасында жиі қолданылатын және маңызды рөл атқаратын бірнеше техникалық леммаларды ұсынамыз.

Лемма 1 [16]. $\Delta=(r_1,\ldots,r_n)$ кеңейту салмағын ескере отырып, $V_1(x)$ және $V_2(x)$ тиісінше τ_1 және τ_2 дәрежелері біртекті деп болжаймыз. Олай болса, $V_1(x)$ $V_2(x)$-де сол $\Delta=(r_1,\ldots,r_n)$ кеңейтуге қатысты біртекті. Сонымен қатар, $V_1(x)\,V_2(x)$-нің біртекті дәрежесі $\tau_1+\tau_2$-ге тең.

Лемма 2 [16]. $V:\mathbb{R}^n\to\mathbb{R}$ функциясы Δ кеңейту салмағына қатысты τ дәрежесінің біртекті функциясы деп болжайық. Содан кейін келесі орындалады:

(1) $\dfrac{\partial V}{\partial x_i}$ сондай-ақ $\tau - r_i$ дәрежесі арқылы біртекті болып табылады, мұндағы x_i -дің біртекті салмағы r_i-ге тең.

(2) Мұндағы $\sigma > 0$ тұрақты және ол келесіні қанағаттандырады $V(x) \le \sigma \|x\|_{\Delta}^{\tau}$. Сонымен қатар, егер $V(x)$ оң анықталған болса, онда $\rho > 0$ тұрақтысы бар және ол келесіні қанағаттандырады $\rho \|x\|_{\Delta}^{\tau} \le V(x)$.

Лемма 3 [14]. Барлық $x, y \in R$ және тұрақты $p \ge 1$ үшін келесі теңсіздіктер орындалады:

(i) $|x+y|^p \le 2^{p-1}|x^p + y^p|$, $(|x|+|y|)^{1/p} \le |x|^{1/p} + |y|^{1/p} \le 2^{(p-1)/p}(|x|+|y|)^{1/p}$

Егер $p \in R_{odd}^{\ge 1}$, онда

(ii) $|x-y|^p \le 2^{p-1}|x^p - y^p|$ және $|x^{1/p} - y^{1/p}| \le 2^{(p-1)/p}|x-y|^{1/p}$.

Лемма 4 [15]. a, b оң тұрақты сандар болсын. Онда, кез келген нақты функция $\gamma(x, y) > 0$ үшін келесі теңсіздік орындалады:

$$|x|^a |y|^b \le \frac{a}{a+b}\gamma(x,y)|x|^{a+b} + \frac{b}{a+b}\gamma^{-a/b}(x,y)|y|^{a+b}.$$

Бұл мақалада (2) түрдегі жоғары ретті сызықтық емес жүйелер үшін кері байланыс күйі арқылы шығыс мәліметтерін практикалық бақылау мәселесі қарастырылады. Мұнда біз осы мәселенің дәл анықтамасын береміз.

Шығыс кері байланыс арқылы кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі: (2) жүйені қарастырайық және $y_r(t)$ тірек сигналы уақыт бойынша өзгеретін C^1 функциясы $[0,\infty)$ аралағында шектелген болсын. Кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін келесі құрылымға ие шығыс шамасын бақылау контроллерін құрамыз:

$$\begin{cases} \dot{\zeta} = \alpha(\zeta, y),\ \zeta(0) \in R^{n-1} \\ u = \beta(\zeta, y) \end{cases} \tag{4}$$

мұндағы α, β қайсыбір тегіс функциялар, сондай:

1. (1) жабық тұйықталған жүйенің $[x(t), \zeta(t)] \in R^{2n-1}$ барлық күйлері (4) шығыс контроллерімен $[0,\infty)$ аралығында жақсы анықталған және кең ауқымды шектелген.

2. Кез келген $[x(0), \zeta(0)]$ бастапқы күй үшін $T := T(\varepsilon, x(0), \zeta(0)) > 0$ шекті уақыт келесі түрде болады:

$$|y(t)| = |x_1(t) - y_r(t)| < \varepsilon, \quad \forall t \ge T \ge 0 \tag{5}$$

Шығыс шамасын глобальды практикалық бақылау мәселесін шешу үшін біз мынадай болжамдар жасадық:

Болжам 3.1. $i = 1,\dots,n$ үшін C_1, C_2 тұрақтылары және $\tau \ge -\dfrac{1}{\sum_{l=1}^{n} p_1 \cdots p_{l-1}}$ келесі түрде бар болады:

$$\left|\phi_i(t,x,u)\right| \le C_1\left(\left|x_1\right|^{\frac{r_i+\tau}{r_i}} + \cdots + \left|x_i\right|^{\frac{r_i+\tau}{r_i}}\right) + C_2 \qquad (6)$$

мұндағы, $r_1 = 1, \quad r_{i+1} = \dfrac{r_i+\tau}{p_i} > 0, \quad i = 1,\dots,n.$

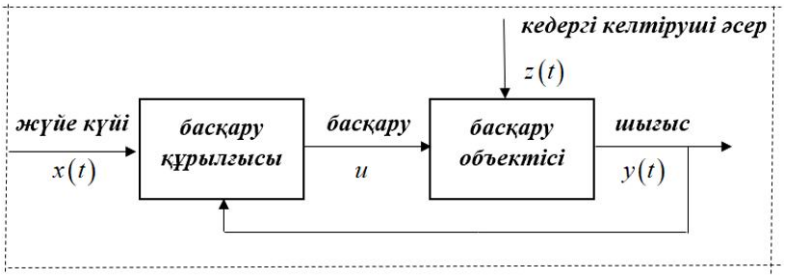
Болжам 3.2. $y_r(t)$ тірек сигналы үздіксіз дифференциалданады, сонымен қатар, белгілі бір тұрақты $D > 0$ бар және келесі түрде анықталады:

$\left|y_r(t)\right| + \left|\dot{y}_r(t)\right| \le D, \ \forall t \in [0,\infty)$

3. Күй шамасын кері байланыс арқылы берілген тірек сигнал ізіне түсірудің басқаруын жобалау алгоритмі

Кері байланыс арқылы басқару.

Бақылаудағы ең маңызды міндет жүйелік белгісіздіктер болған жағдайда кері байланыс арқылы басқарылатын объектінің орнықтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Кері байланыс жүйенің күйі бойынша немесе шығыс шамасы арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Яғни, бақыланатын анықталмаған жүйенің шығыс шамасын немесе күйін пайдаланып кері байланысты басқару заңын құру болып табылады.



1 сурет. Кері байланыс арқылы басқару схемасы

Күй шамасын кері байланыс арқылы берілген тірек сигнал ізіне түсірудің басқаруын жобалау алгоритмі:

- Қарастырып жатқан сызықтық емес жүйенің номинал жүйесін асимптотикалық орнықтандыратын басқаруды жобалау;
- Қарастырып жатқан жүйеміздің бірінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын тауып, сол функцияның туындысын 0-ден кіші ете алатындай виртуалды басқаруды табу;

- Бірінші қадамда табылған виртуалды басқару көмегімен екінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын табу және сол функцияның туындысын 0-ден кіші ететіндей виртуалды басқаруды табу.
- Осы іс-әрекетті соңғы нақты басқару қатысқан теңдеуге дейін жалғастырып, одан әрі бүтін жүйені басқаратын нақты басқару теңдеуін табу;
- Табылған басқарудың көмегімен жүйенің шығыс сигналын көзделген тірек сигнал ізіне түсіру;

Басқару мәселесінің негізгі мақсаттарының бірі – бақыланатын $y(t)$ шығыс шамасын берілген $y_r(t)$ тірек сигналының ізіне түсіретіндей басқаруды құру болып табылады, яғни: $k(t) = y(t) - y_r(t) \approx 0, \ \forall t \geq t_0$. Мұндағы t_0 - бақылау басталатын уақыт.

4. Сызықтық емес жүйелердің шығыс шамасын робастты практикалық бақылау

(2) түрдегі жүйені қарастырайық. Ондағы $p_n = 1$ деп аламыз (бұл шектеу болып табылмайды, өйткені біз $p_n \neq 1$ жағдайында $v := u^{p_n}$ деп белгілей аламыз) және y_r – ізіне түсуге арналған тірек сигналы. Әдетте ізіне түсу мәселесінің қарапайым жағдайында $y_r(t), \ t \in [0, \infty)$ тірек сигналы, сондай ақ оның туындылары белгілі, бірақ біздің қарастыратын мәселемізде x_1 шығыс шамасы мен y_r тірек сигналы арасындағы $y = x_1 - y_r$ қателікті өлшеуге болады деп есептеледі. Сәйкесінше, тек y -ті компенсаторды жобалау кезінде қолдануға рұқсат етіледі. Алайда, біздің реттеуіміз қарапайым жағдайдан тұратындығы белгілі, өйткені y_r белгілі, x_1-ді $x_1 = y - y_r$ арқылы алуға болады. Осыған қосымша ретінде, кейбір практикалық бақылау программаларында қателік сигналы $y = x_1 - y_r$ тек ақпарат деп саналып, міндетті түрде есептелуге жатады. Мысалы, ракетаны бағыттау жүйесінде борттық радар қозғалыстағы нысанның абсолютті позициясын, яғни y_r сигналын өлшеудің орнына ракета мен нысанның арасындағы арақашықтықты/қателікті өлшеуді жалғастыра береді [17]. Басқа жағдайда тек қателік сигналы датчик құрылымын қарапайым етеді, өйткені, контроллер жіті бақылануы тиіс сигналдан тәуелсіз деп тұжырымдалады. Осылайша, контроллер түрлі тірек сигналдарына робастты бейімделген болып табылады.

5. Уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелердегі бақылау

Табиғатта кездесетін көптеген сызықтық емес процестерде уақыт кешігуі құбылыстары болады. Жоғарыда аталған нәтижелерде уақыт кешігуінен болатын әсер қарастырылмаған. Мысалы, уақыт кешігуі құбылыстары электр жүйелерінде, микротолқынды осциллятордың жұмысында, гидротехникалық жүйелерде және т.б. сол сияқты көптеген практикалық жүйелерде кездеседі және бұл уақыт кешігу

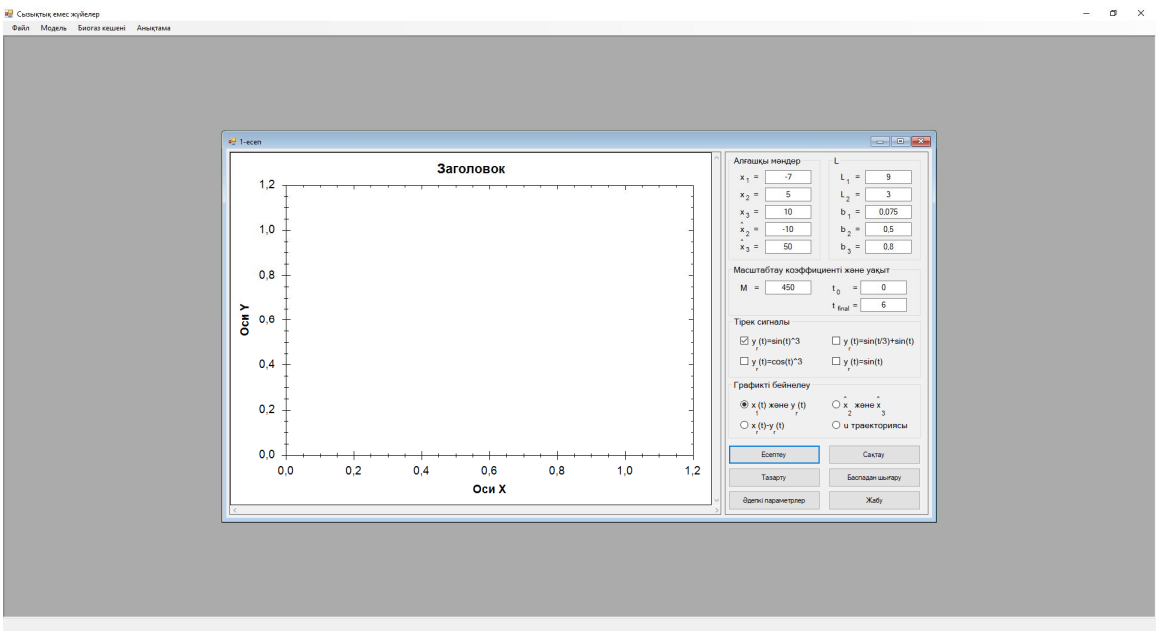
құбылысы жүйенің жұмысына айтарлықтай әсер етеді. Сол себепті, сызықтық емес жүйелерді зерттеу барысында уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді орнықтандыру мәселесі және олардың шығыс шамасын бақылау мәселелері практикалық маңызға ие және соңғы жылдары бұл мәселеге көп көңіл бөлінуде. Уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелер деп $x(t)$ жүйе күйінің келесі өзгерісі олардың ағымдық шамасынан ғана емес, алдыңғы шамасынан да тәуелді болатын жүйелерді айтамыз. Жоғарыда келтірілген (2) жүйені уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйе түрінде сипаттайтын болсақ, онда келесі түрдегі жүйені аламыз:

$$\begin{aligned}
&\dot{x}_1(t) = x_n^{p_1}(t) + \varphi_1(t, x(t), x(t-d), u(t)),\\
&\quad\vdots\\
&\dot{x}_{n-1}(t) = x_n^{p_{n-1}}(t) + \varphi_{n-1}(t, x(t), x(t-d), u(t)),\\
&\dot{x}_n(t) = u + \varphi_n(t, x(t), x(t-d), u(t)),\\
&y(t) = x_1(t) - y_r(t)
\end{aligned} \tag{7}$$

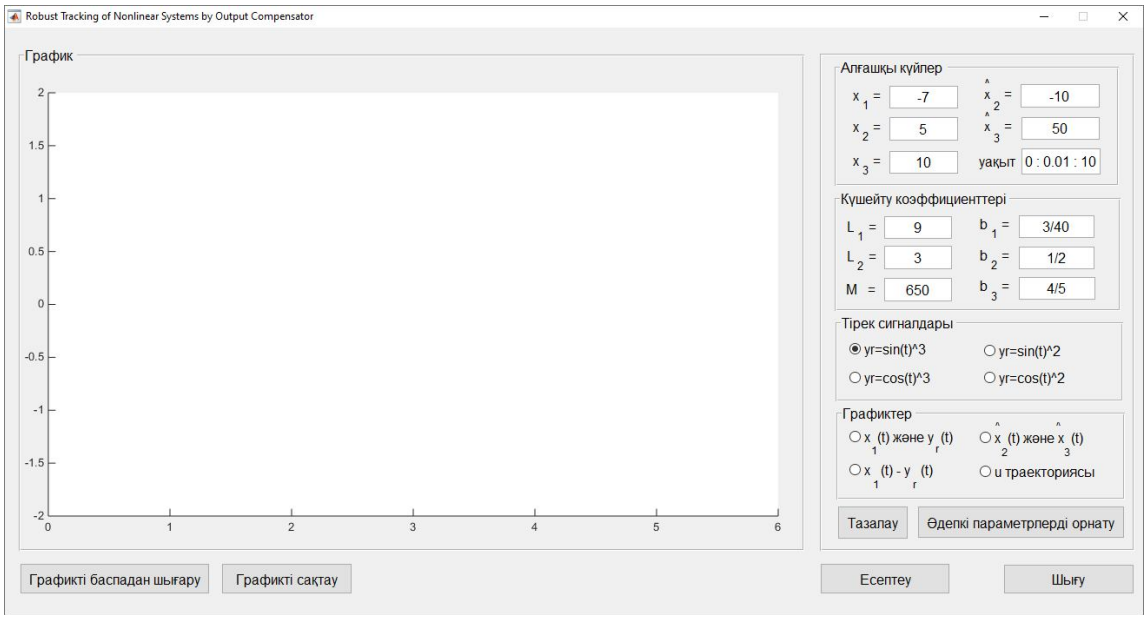
мұндағы $x(t) \coloneqq (x_1(t),\ldots,x_n(t))^{\mathrm{T}} \in R^n$, $u \in R$, және $y(t) \in R$ - сәйкесінше жүйенің күйі, басқарудың кіріс шамасы және шығыс шамасы. Тұрақты сан $d \geq 0$ жүйенің уақыт кешігуі және мұндағы $x(\theta) = \varphi_0(\theta),\ \theta \in [-d, 0],\ d \geq \max\{d_1,\ldots d_n\}$ жүйенің алғашқы шарты. Мұндағы $\varphi_i(\cdot)$ белгісіз үздіксіз функциялар болып табылады, $p_i \in R_{odd}^{\geq 1} \coloneqq \{\frac{p}{q} \in [0,\infty) : p$ және q тақ бүтін сандар, $p \geq q\}$, $(i = 1,\ldots,n-1)$ жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді. Біздің мақсатымыз жүйелерде d уақыт кешігуі болған жағдайда да шекті уақыттан соң барлық күйлер шектелген аймақта болатындай және жүйенің шығыс шамасы $y(t)$-ді көзделген тірек сигналдың ізіне түсіретін басқаруды табу болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін жоғарыда келтірілген алгоритм бойынша Ляпунов функциясын құрып, берілген жүйе бойынша басқару теңдеуін табамыз. Табылған басқару теңдеуін пайдаланып жүйенің шығыс сигналы мен көзделген тірек сигнал арасындағы қателікті есептейміз. Қателік барынша аз болған сайын ізіне түсу есебі шешімі табылды, яғни қойылған мақсатқа жеттік деп есептейміз.

6. Бағдарламалық кешен құру

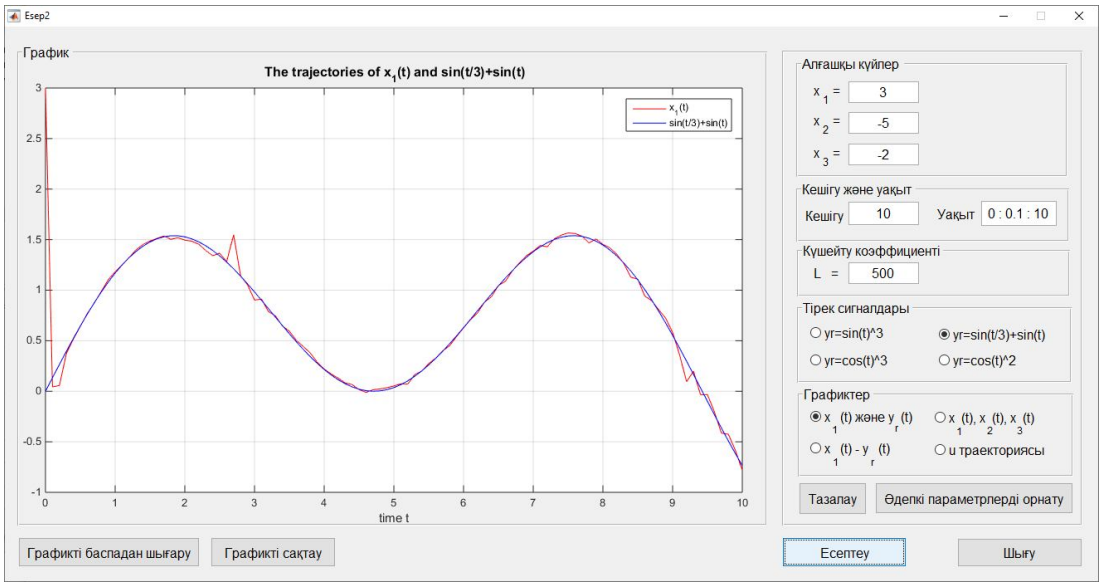
Жоғарыдағы алгоритм бойынша сызықтық емес жүйе ізіне түсу есептерінің шешімдері қарапайым түсінікті болу үшін объектілі-бағытталған бағдарламалық орта C++ және Matlab GUIDE қосымшасында бағдарламалық кешен құрылды. Төменде бағдарламалық кешен құру процесі және алынған нәтиже көрсетіледі.



Сурет 1. C++ бағдарлама ортасын пайдаланып ізіне түсу есебін жобалау



Сурет 2. Matlab GUI қосымшасында берілген есеп интерфейсін жобалау



Сурет 3. Алынған нәтиже

7. Қорытынды

Қорыта келе сызықтық емес жүйелерге кең ауқымды практикалық бақылау және ол үшін бағдарламалық кешен құру есебін шешу үшін алдымен сызықтық емес жүйелер ұғымы түсіндіріліп, математикалық алғышарттар және алгоритм құрылды. Біз қарастырған есептер осы еңбекте арнайы құрылған алгоритм негізінде Ляпунов функциясын қолданып біртекті үстемдік әдісі арқылы шешімін тапты. Нәтиженің дұрыстығына көз жеткізу үшін бағдарламалық кешен құрылып, нәтижелер алынды.

Қаржыландыру

Эксперименттік зерттеулер Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының BR05236839 «Цифрлық Қазақстанды дамытудың негіздерінің бірі ретінде жеке тұлғаның тұрақты дамуына ықпал ететін ақпараттық технологиялар мен жүйелерді құру» бағдарламалық мақсатты қаржыландыру аясында өткізілді.

Әдебиеттер

1 Davison E.J. The robust control of a servomechanism problem for linear time-invariant multivariable systems // IEEE Trans. Automat. Control. – 1976. – Vol. 21. – P. 25-34.

2 Francis B.A., Wonham W.M. The internal model principle of control theory // Automatica. – 1976. – Vol. 12. – P. 457-465.

3 Anantharam V., Desoer, C.A. Tracking and disturbance rejection of MIMO non-linear systems with a PI or PS controller // Proclamation of the 24th IEEE Conference Decision and Control. – 1985. – P. 1367-1368.

4 Desoer C., Lin C. Tracking and disturbance rejection of MIMO nonlinear systems with PI controller // IEEE Trans. Automat. Control. – 1985. – 30 (9). – P. 861-867.

5 Di Benedetto M.D. Synthesis of an internal model for non-linear output regulation // Int. J. Control. – 1987. – Vol. 45 (3). – P. 1023-1034.

6 Huang J., Rugh W.J. On a non-linear multivariable servomechanism problem // Automatica. – 1990. – Vol. 26 (6). – P. 963-972.

7 Hepburn J., Wonham W.A. Error feedback and internal model on differentiable manifolds // IEEE Trans. Automat. Control. – 1984. – Vol. 29 (5). – P. 397-403.

8 Isidori A., Byrnes C.I. Output regulation of non-linear system // IEEE Trans. Automat. Control. – 1990. – Vol. 35 (2). – P. 131-140.

9 Byrnes C.I., Isidori A. Output regulation of non-linear system: An overview // Int. J. Robust Non-linear Control. – 2000. – Vol. 10 (5). – P. 323-337.

10 Byrnes C., Delli Priscoli F., Isidori A. Output regulation of uncertain nonlinear systems. Monograph. – Birkhauser, Boston. – 1997. – 120 p.

11 Yang B., Lin W. Robust output feedback stabilization of uncertain non-linear systems with uncontrollable and unobservable linearization // IEEE Trans. Automat. Contr. – 2005. – Vol. 50. – P. 619-630.

12 Alimhan K., Inaba, H. Robust practical output tracking by dynamic output feedback for uncertain non-linear systems with unstabilisable and undetectable linearisation // International Journal of Modelling, Identification and Control. – 2008. – Vol. 5 (1). – P. 1-13.

13 Alimhan K., Inaba H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently non-linear systems // International Journal of Modelling, Identification and Control. – 2008. – Vol. 4 (4). – P. 304-314.

14 Polendo, J., Qian, C. A universal method for robust stabilization of nonlinear systems: unification and extension of smooth and non-smooth approaches / J. Polendo, C. Qian // Proc. of the American Control Conference, 2006. – P. 4285-4290.

15 Polendo, J., Qian, C. A generalized homogeneous domination approach for global stabilization of inherently nonlinear systems via output feedback / J. Polendo, C. Qian // Int. J. of Robust and Nonlinear Control, 2007. – Vol. 7, N. 7. – P. 605–629.

16 Rosier, L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector fields / L. Rosier // Systems & Control Letters, 1992. – N. 19. – P. 467–473.

17 Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of non-linear systems by output feedback // Proc. the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference. – Seville, Spain. – 2005. – P. 7278-7283.

АЙНЫМАЛЫ УАҚЫТ КЕШІГУІ БАР ШЫН МӘНІНДЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ШЫҒЫСЫН КҮЙ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ІЗГЕ ТҮСІРУ

Алимхан К.[1,2], Тасболатұлы Н.[3,4], Ерденова А.К.[1], Ахметкалиева А.С.[1]

keylan@live.jp, tasbolatuly@gmail.com, erdenova_aigerim@mail.ru, almira_vko@mail.ru

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан
[2]Токио Денки Университеті, Жапония
[3]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Қазақстан
[4]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан

Түйіндеме. *Бұл мақала айнымалы уақыт кешігуі бар шын мәнінде сызықтық емес жүйелер классының шығысын күй кері байланыс арқылы практикалық ізге түсіру мәселесіне арналған. Кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін жүйенің сызықтық еместігінің қатаң емес өсу шартында реттелетін күшейту коэффициенті бар күй кері байланыс арқылы контроллер құрамыз. Ляпунов-Красовскийдің функционалының көмегімен масштабтау күшейткіші өсу шартымен шектелген уақыт бойынша кешігетін сызықтық еместікте үстемдік ететіндей реттеледі және тұйық жүйенің барлық күйлері шектеулі болғанда ізге түсіру қателігін жеткілікті аз етеді.*

Кілт сөздер*: шығысты практикалық ізге түсіру, кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін сызықтық емес жүйелер, күй кері байланысы, біртекті үстемдік ету әдісі.*

1. Кіріспе

Бұл мақалада төмендегідей түрде сипатталатын уақыт бойынша кешігетін жоғары ретті сызықтық емес жүйелер классының шығысын күй кері байланыс арқылы кең ауқымды практикалық ізге түсіру мәселесі қарастырылады:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= x_{i+1}(t)^{p_i} + \varphi_i(\bar{x}_i(t), x_1(t-d(t)), \ldots, x_i(t-d(t))), \\ &\qquad\qquad i = 1, \ldots, n-1, \\ \dot{x}_n &= u + \varphi_n(x(t), x(t-d(t))), \\ y &= x_1(t), \end{aligned} \tag{1}$$

Мұндағы $x(t) = (x_1(t), \ldots, x_n(t))^{\mathrm{T}} \in R^n$, $u(t) \in R$, және $y(t) \in R$ сәйкесінше күй векторы, кіріс және шығысты бақылау. $\bar{x}_i(t) = (x_1(t), \ldots, x_i(t))^T \in R^i$, $\bar{x}_n(t) = x_n(t)$, $d(t): R \to [0, d]$ уақыты кешіккен уақыт бойынша өзгеретін функция, ол келесі шартты қанағаттандырады: $d^{'}(t) \le \vartheta < 1$. Жүйенің бастапқы шарты $x(\theta) = \varphi_0(\theta), \quad \theta \in [-d, 0]$ және $\varphi_0(\theta)$ үзіліссіз бастапқы функциясы көрсетілген. $\varphi_i(\cdot)$ мүшелері сызықтық емес ауытқуды білдіреді, олар үзіліссіз функциялар және $p_i \in R_{odd}^{\ge 1} = \{p/q \in [0, \infty): p$ және q тақ бүтін сандар $p \ge q\}$.

Сызықтық емес жүйелердің шығысын практикалық ізге түсіру мәселесі сызықтық емес басқару облысындағы аса маңызды және күрделі есептердің бірі болып табылады, сондықтан да оларға соңғы онжылдықта көп көңіл бөлінді. Соңғы жылдары бірнеше қызықты нәтижелер қатары алынды [1-11], сондай-ақ оларға сілтемелер де алынды. Алайда, жоғарыда айтылған нәтижелерде уақыттың кешігу әсері қарастырылмайды. Уақыт бойынша кешігетін құбылыстар көптеген

практикалық жүйелерде кездеседі. Жүйеде уақыт кешігуінің болуына байланысты, ол жүйенің жұмысына айтарлықтай әсер етеді, басқару жүйесінің жұмысы нашарлап, орнықсыздық пен тербелісті тудыруы мүмкін. Сондықтан да, кешігуі бар сызықтық емес жүйелердің шығысын ізге түсіруді зерттеу мәселесінің практикалық маңызы зор. Алайда, сызықтық емес басқаруда қолданылатын біріңғай әдістің болмауынан, бұл мәселе толығымен зерттелмеді, әлі де шешімін таппаған көптеген маңызды мәселелер бар. Соңғы жылдары уақыт бойынша кешігуі бар есептерді Ляпунов-Красовскийдің әдісін қолданудың арқасында басқару теориясы мен кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді орнықтандыру тәсілдері дамытылды, және жетілдірілген әдістер жасалды, мысалы келесі жұмыстарды қараңыз, [12-19]. Уақыт бойынша кешігуі бар сызықтық емес жүйелердің шығысын ізге түсіру мәселесі жайлы қызықты нәтижелерді мына жұмыстарда кездестіруге болады [20-24]. Дегенмен бұл нәтижелер ерекше жағдайларда ғана ескеріледі, мысалы (1) жүйе үшін кешігу тұрақты немесе бірге тең болғанда. Кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін сызықтық емес жүйелерді қарастырғанда мәселе күрделі болып, шешімі табылмай қалады. Бұл өз кезегінде осы мақаладағы зерттеуге септігін тигізді.

Бұл мақалада біз кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді қатаң емес шарт жағдайында жоғарыдағы есепті біртекті үстемдік әдісі арқылы [25, 26, 15] және Ляпунов-Красовскийдің біртекті функционалының көмегімен шешеміз. Мақаланың негізгі нәтижелерін келесідей қорытындылауға болады: (i) [21-23] жұмыстардағы бар нәтижелермен салыстырғанда, жоғары ретті мүшелердің пайда болуынан (1) жүйе үшін сәйкес Ляпунов-Красовский функционалын қалай құруға болады, бұл тривиалды емес жұмыс. (ii) Бұл жазба [24] жұмыстағы нәтижені кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін жағдайға кеңейтілді.

2. Жоғары ретті сызықтық емес жүйелердің шығысын практикалық ізге түсіру

Бұл мақаланың мақсаты (1) жүйенің шығысын $y_r(t)$ тірек сигналының көмегімен практикалық ізге түсіретіндей контроллер құру болып табылады. Яғни кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін күй кері байланыс контроллерін келесідей жобалаймыз

$$u(t) = g(x(t), y_r(t)), \tag{2}$$

ол барлық бастапқы шарттар үшін төмендегі орынды болады:

(i) (2) түріндегі күй контроллері бар (1) тұйық жүйенің барлық траекториялары нақты анықталған және $[0, +\infty)$ аралығында кең ауқымды шектелген

$$\left| y(t) - y_r(t) \right| < \varepsilon, \qquad \forall t \geq T > 0 \tag{3}$$

шартын қанағаттандыратындай $T > 0$ ақырлы уақыты табылады.

Бұл бөлімде келесі екі болжам бойынша (1) түрдегі кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін жоғары ретті сызықтық емес жүйелердің шығысын практикалық ізге түсіру мәселесін шешуге болатындығын көрсетеміз.

Болжам 1. C_1, C_2 тұрақтылары және $\tau \geq 0$ үшін

$$\begin{aligned}&\left|\varphi_i(t,\bar{x}_i(t),x_1(t-d(t)),\ldots,x_1(t-d(t)))\right| \\ &\quad\leq C_1\Big(\left|x_1(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_1}+\left|x_2(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_2}+\cdots+\left|x_i(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_i} \\ &\quad+\left|x_1(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_1}+\left|x_2(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_2}+\cdots+\left|x_i(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_i}\Big)+C_2\end{aligned} \tag{4}$$

мұндағы

$$r_1=1,\quad r_{i+1}p_i=r_i+\tau>0,\quad i=1,\ldots,n \tag{5}$$

және $p_n=1$.

Болжам 2. $d(t)$ уақыты кешіккен функция дифференциалданады және келесі шартты қанағаттандырады $0\leq d(t)\leq d$, $d'(t)\leq\vartheta<1$.

Болжам 3. $y_r(t)$ тірек сигналы және оның туындысы шекараланған, яғни $D>0$ тұрақтысы бар болып, $\left|y_r(t)\right|\leq D$ және $\left|\dot{y}_r(t)\right|\leq D$ болады.

Біздің негізгі мақсатымыз 1-2 болжамдарға сәйкес (1) түрдегі кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін жоғары ретті сызықтық емес жүйелердің шығысын кешігуге тәуелсіз кері байланыс күйі арқылы практикалық ізге түсіру мәселесін қарастыру болып табылады. Ол үшін келесідей координата ауыстыруын еңгізейік.

$$z_1(t)=x_1(t)-y_r(t),\quad z_i(t)=x_i(t)\big/L^{\kappa_i},\quad i=2,\ldots,n,\quad v(t)=u(t)\big/L^{\kappa_n+1} \tag{6}$$

мұндағы $L\geq 1$ тұрақты (оны кейінірек анықтаймыз) және $\kappa_1=0$, $\kappa_i=(\kappa_{i-1}+1)/p_{i-1}$, $i=2,\ldots,n$. Түрлендіру жасасақ (1) жүйені $z_i(t)$ жаңа координата арқылы өрнектейміз

$$\begin{aligned}&\dot{z}_i(t)=Lz_{i+1}^{p_i}+\psi_i(\bar{z}_i(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,z_i(t-d(t))),\\ &\qquad\qquad i=1,\ldots,n-1,\\ &\dot{z}_n(t)=Lv+\psi_n(\bar{z}_i(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,z_n(t-d(t))),\\ &y(t)=z_1(t)+y_r(t)\end{aligned} \tag{7}$$

мұндағы $\bar{z}_i(t)=(z_1(t)+y_r(t),z_2(t)\ldots,z_i(t))^T$, және

$$\begin{aligned}&\psi_1(z_1(t)+y_r(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)))\\ &\qquad=\varphi_1(z_1(t)+y_r(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t))-\dot{y}_r(t),\\ &\psi_i(\bar{z}_i(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,z_i(t-d(t)))\\ &\qquad=\varphi_i(\bar{z}_i(t),z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,z_i(t-d(t))\big/L^{\kappa_i},\quad i=2,\ldots,n.\end{aligned}$$

1 болжамды, А3 лемманы және $L\geq 1$ болатындығын қолданып келесі теңсіздіктерді алуға болады

$$\left|\psi_1(z_1(t)+y_r(t),\, z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)))\right|$$
$$\le C_1\left(\left|z_1(t)+y_r(t)\right|^{(r_1+\tau)/r_1}+\left|z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t))\right|^{(r_1+\tau)/r_1}\right)+C_2+\left|\dot{y}_r(t)\right|$$
$$\left|\psi_i(\overline{z}_i(t),\, z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,\, z_i(t-d(t)))\right|$$
$$\le \frac{C_1}{L^{\kappa_i}}\left(\left[\left|z_1(t)+y_r(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_1}+\left|L^{\kappa_2}z_2(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_2}+\cdots+\left|L^{\kappa_i}z_i(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_i}\right]\right.$$
$$\left.+\left[\left|z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_1}+\left|L^{\kappa_2}z_2(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_2}+\cdots+\left|L^{\kappa_i}z_i(t-d(t))\right|^{(r_i+\tau)/r_i}\right]\right)+$$
$$+\frac{C_2}{L^{\kappa_i}}$$

2 болжам бойынша $\overline{C}_i, i=1,2$ тұрақтылары бар болады, ол тек қана C_1, C_2, τ, κ_i және L тұрақтыларына тәуелді, онда (4) мына түрге келеді

$$\left|\psi_1(z_1(t)+y_r(t),\, z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)))\right|\le \overline{C}_1\left(\left|z_1(t)\right|^{(r_1+\tau)/r_1}+\left|z_1(t-d(t))\right|^{(r_1+\tau)/r_1}\right)+\overline{C}_2$$
$$\left|\psi_i(\overline{z}_i(t),\, z_1(t-d(t))+y_r(t-d(t)),\ldots,\, z_i(t-d(t)))\right| \qquad (8)$$
$$\le \overline{C}_1 L^{1-\nu_i}\sum_{j=1}^{i}\left(\left|z_j(t)\right|^{(r_i+\tau)/r_j}+\left|z_j\left(t-d(t)\right)\right|^{(r_i+\tau)/r_j}\right)+\frac{\overline{C}_2}{L^{\kappa_i}},\quad i=2,\ldots,n$$

Мұндағы $\overline{C}_1>0,\ \overline{C}_2>0$ және

$$\nu_i := \min\left\{1-\kappa_j(r_i+\tau)/r_j+\kappa_i,\ 2\le j\le i,\ 1\le i\le n\right\}>0,$$

яғни, $0<\nu_i<1$ қайсыбір тұрақты.

Анықтама бойынша $r_j := \tau\kappa_j+1/(p_1\ldots p_{j-1})$

$$\kappa_j\frac{r_{i+1}p_i}{r_j}-\kappa_i\le\frac{\tau\kappa_j}{\tau\kappa_j+1/p_1\ldots p_{j-1}}<1,\quad j=2,\ldots,i,\quad i=1,\ldots,n.$$

Ары қарай біз (7) түрдегі номиналды жүйе үшін күй кері байланыс контроллерін құрамыз, яғни

$$\dot{z}_i(t)=Lz_{i+1}^{p_i}(t),\quad i=1,\ldots,n-1,\ \dot{z}_n(t)=Lv(t),\quad y(t)=z_1(t)+y_r(t) \qquad (9)$$

Біз (9) жүйе үшін күй кері байланыс контроллерін [15, 25] келтірілгендей құра аламыз, оны келесі тұжырым арқылы беруге болады.

Тұжырым 1. Айталық, (9) жүйе үшін күй кері байланыс контроллері былай анықталсын

$$v = -\beta_n^{r_{n+1}/\sigma}\xi_n^{r_{n+1}/\sigma} = -\left(\sum_{i=1}^{n}\overline{\beta}_i z_i^{\sigma/r_i}\right)^{r_{n+1}/\sigma} \tag{10}$$

ол оң анықталған C^1 және радиалды шектелмеген Ляпунов функциясымен,

$$V_n = \sum_{i=1}^{n}\int_{z_i^*}^{z_i}\left(s^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i}\right)^{(2\sigma-\tau-r_i)/\sigma} ds \tag{11}$$

Ол келесі шартты қанағаттандырады

$$\dot{V}_n \le -L\sum_{j=1}^{n}\xi_j^2, \tag{12}$$

мұндағы $\xi_i = z_i^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i}$, $z_i^* = -\beta_{i-1}^{r_i/\sigma}\xi_{i-1}^{r_i/\sigma}$, $z_1^* = 0$, $\sigma \ge \max_{1\le i\le n}\{\tau + r_i\}$ және $\overline{\beta}_i = \beta_n \cdots \beta_i,\ i = 1, \ldots, n$ оң тұрақтылар. Онда, (9) және (10) тұйық циклдік жүйе кең ауқымды асимптотикалық орнықты болады.

1-тұжырымның дәлелдеуі [6]-[8], [15], жұмыстардағыға ұқсас болғандықтан, бұл жерде оны келтірмейміз. Ары қарай біз (1) жүйенің шығысын ізге түсіру үшін кең ауқымды контроллерді құру үшін біртекті үстемдік ету әдісін қолданамыз, ол бұл мақаладағы төмендегі негізгі теоремада сипатталады.

Теорема 1. 1-3 болжамдарға сәйкес, кешігуі бар уақыт бойынша өзгеретін (1) түріндегі жоғары ретті сызықтық емес жүйенің шығысын кең ауқымды ізге түсіру мәселесі (7) және (10) күй кері байланыс контроллері арқылы шешілуі мүмкін.

Дәлелдеу.

(10) негізінде бас нүктеде тепе-теңдікті сақтап қалатындығын дәлелдеу қиындық туғызбайды.

r_i және σ анықтамасы бойынша $u = L^{\kappa_n+1}v$ үздіксіз функция болатындығын және $z = 0$ болғанда $u = 0$ болатындығын көре аламыз. Ал бұл 1 болжаммен бірге жүйенің шешімі $[0, t_M]$ интервалында анықталғандығын білдіреді, мұндағы $t_M > 0$ ақырлы тұрақты немесе $+\infty$ болуы мүмкін және u бас нүктеде тепе-теңдікте қалады.

Ары қарай келесі белгілеулерді анықтаймыз

$$z = \left(z_1, \ldots, z_n\right)^T,\ E(z) = \left(z_2^{p_1}, \ldots, z_n^{p_{n-1}}, v\right)^T \text{ және } F(z) = \left(\varphi_1, \varphi_2/L^{\kappa_2}, \ldots, \varphi_n/L^{\kappa_n}\right)^T. \tag{13}$$

Онда тұйық-циклдық (7)-(10) жүйені (6) және (13) белгілеулер бойынша төмендегідей компактілі формада жазуға болады

$$\dot{z} = LE(z) + F(z) \tag{14}$$

А1 анықтамадағы $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ кеңейту салмағын еңгізу арқылы V_n функциясы Δ салмағы бар $2\sigma-\tau$ дәрежелі біртекті болатындығын дәлелдеу қиындық туғызбайды. Сондықтан біріңғай (11) Ляпунов функциясын қолданып және А2 мен А3 леммалары бойынша келесідей қорытынды шығаруға болады

$$\dot{V}_n(z) = L\frac{\partial V_n}{\partial z}E(z) + \frac{\partial V_n}{\partial z}F(z) \le -m_1 L\|z\|_\Delta^{2\sigma} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial V_n}{\partial z_i}\psi_i \tag{15}$$

мұндағы $m_1 > 0$ тұрақты

(8) негізінде, 1 болжам бойынша және $L>$ 1болғандықтан төмендегі шартты қанғаттандыратындай $\delta_i > 0$ және $0 < \gamma_i \le 1$ тұрақтыларын табуға болады:

$$\begin{aligned}|\psi_i| &\le \bar{C}_1 \sum_{j=1}^{i} L^{\kappa_j (r_i+\tau)/r_j - \kappa_i}\left(|z_j(t)|^{(r_i+\tau)/r_j} + |z_j(t-d(t))|^{(r_i+\tau)/r_j}\right) + \frac{\bar{C}_2}{L^{\kappa_i}} \\ &\le \delta_i L^{1-\gamma_i}\left(\|z(t)\|_\Delta^{r_i+\tau} + \sum_{j=1}^{i}\|z(t-d(t))\|_\Delta^{r_i+\tau}\right) + \frac{\bar{C}_2}{L^{\kappa_i}}\end{aligned} \tag{16}$$

және А2 леммасы бойынша барлық $i = 1, \dots, n$ үшін $\partial V_n / \partial z_i$ - $2\sigma - \tau - r_i$ дәрежелі біртекті болады.

$$\left|\frac{\partial V_n}{\partial z_i}\right| \le m_2 \|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau-r_i}, \quad m_2 > 0 \tag{17}$$

және

$$\begin{aligned} m_2\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau-r_i}\frac{\bar{C}_2}{L^{\kappa_i}} &= L^{1-\gamma_i}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau-r_i}\frac{m_2\bar{C}_2}{L^{\kappa_i+1-\gamma_i}}, \\ &\le L^{1-\gamma_i}\frac{2\sigma-\tau-r_i}{2\sigma}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} + \frac{\tau+r_i}{2\sigma}\left(\frac{m_2\bar{C}_2}{L^{\kappa_i+1-\gamma_i}}\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)} \\ &\le L^{1-\gamma_i}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} + \frac{\left(m_2\bar{C}_2\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{2\sigma(\kappa_i+1-\gamma_i)/(\tau+r_i)}}\end{aligned}$$

Бұдан,

$$\begin{aligned}\left|\frac{\partial V_n}{\partial z_i}\psi_i\right| &\le m_2\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau-r_i}\left[\delta_i L^{1-\gamma_i}\left(\|z(t)\|_\Delta^{r_i+\tau} + \sum_{j=1}^{i}\|z(t-d(t))\|_\Delta^{r_i+\tau}\right) + \frac{\bar{C}_2}{L^{\kappa_i}}\right] \\ &\le (1+m_2\delta_i)L^{1-\gamma_i}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} + L^{1-\gamma_i}(1+m_2\delta_i)\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau-r_i}\sum_{j=1}^{i}\|z(t-d(t))\|_\Delta^{r_i+\tau} + \frac{\left(m_2\bar{C}_2\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1-\gamma_i}}\end{aligned} \tag{18}$$

мұндағы $\frac{2\sigma-\tau-r_i}{2\sigma} \le 1$, $\frac{\tau+r_i}{2\sigma} \le 1$, және $\frac{2\sigma(\kappa_i+1-\gamma_i)}{\tau+r_i} \ge 1-\gamma_i$.

(18) –ді (15)-ке қойсақ

$$\dot{V}_n(z) \le -L\Big(m_1 \|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - (1+(1+m_2\delta))L^{-\gamma_{\min}} \|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - (1+m_2\delta)L^{-\gamma_{\min}} \sum_{i=1}^{n} \|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-r_i-\tau} \sum_{j=1}^{i} \|z(t-d(t))\|_\Delta^{r_i+\tau}\Big) + \frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(m_2\bar{C}_2\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1-\gamma_{\max}}} \quad (19)$$

мұндағы $\delta = \max_{1\le i\le n}\{\delta_i\}$, $\gamma_{\min} = \min_{1\le i\le n}\{\gamma_i\}$ және $\gamma_{\max} = \max_{1\le i\le n}\{\gamma_i\}$.

А4 лемма бойынша төмендегі шартты қанағаттандыратындай $m_3 > 0$ тұрақтысы табылады:

$$m_2(1+\delta)\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-r_i-\tau} \|z(t-d(t))\|_\Delta^{r_i+\tau} \le \|z\|_\Delta^{2\sigma} + m_3\|z(t-d(t))\|_\Delta^{2\sigma}, \quad (20)$$

бұдан

$$\dot{V}_n(z(t)) \le -L\Big(m_1\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - (2+m_2(1+\delta))L^{-\gamma_{\min}}\sum_{i=1}^{n}L^{-\gamma_i}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - m_3L^{-\gamma_{\min}}\sum_{i=1}^{n}\|z(t-d(t))\|_\Delta^{2\sigma}\Big) + \frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(m_2\bar{C}_2\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1-\gamma_{\max}}} \quad (21)$$

Ары қарай келесі түрде Ляпунов-Красовский функционалын құрамыз:

$$V(z(t)) = V_n(z(t)) + U(z(t)),$$
$$V_n = \sum_{i=1}^{n}\int_{z_i^*}^{z_i}\left(s^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i}\right)^{(2\sigma-\tau-r_i)/\sigma} ds, \quad U(z(t)) = \sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda}{1-\vartheta_i}\int_{t-d(t)}^{t}\|z(s)\|_\Delta^{2\sigma} ds, \quad (22)$$

мұндағы λ оң анықталған параметр, оны кейінірек анықтаймыз. $V_n(z(t))$ оң анықталғандықтан, радиалды шектелмеген және [28] жұмыстағы 4.3 лемма бойынша екі K_∞ классының $\breve{\alpha}_1$ және $\breve{\alpha}_2$ функциялары табылып, олар келесі шартты қанағаттандырады:

$$\breve{\alpha}_1(|z(t)|) \le V_n(z(t)) \le \breve{\alpha}_2(|z(t)|) \quad (23)$$

Біртектілік теориясының негізінде η_1 және η_2 оң тұрақтылары табылып келесі шарт орындалады:

$$\eta_1\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} \le W(z(t)) \le \eta_2\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} \quad (24)$$

мұндағы $W(z(t))$ оң анықталған функция, оның біртектілік дәрежесі 2σ. Бұдан келесі теңсіздік орынды болады:

$$\bar{\alpha}_1(|z(t)|) \le W(z(t)) \le \bar{\alpha}_2(|z(t)|) \tag{25}$$

K_∞ классының $\bar{\alpha}_1$ және $\bar{\alpha}_2$ функциялары үшін.

$0 \le d(t) \le d$ және $d'(t) \le \vartheta < 1$ көмегімен келесі бағалауды аламыз:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda}{1-\vartheta} \int_{t-d(t)}^{t} \|z(s)\|_\Delta^{2\sigma} ds &\le \bar{\eta}_i \int_{t-d}^{t} \tilde{\alpha}_2(|z(t)|) ds \le \bar{\eta}_i \int_{-d}^{0} \tilde{\alpha}_2(|z(\varsigma+t)|) d(\varsigma+t) \\ &\le \tilde{\eta}_i \sup_{-d\le\varsigma\le 0} \tilde{\alpha}_2(|z(\varsigma+t)|) \le \hat{\alpha}_2(\sup_{-d\le\varsigma\le 0} |z(\varsigma+t)|)\end{aligned} \tag{26}$$

мұндағы $\tilde{\alpha}_2$ және $\hat{\alpha}_2$ - K_∞ классының функциялары және $\bar{\eta}_i$ пен $\tilde{\eta}_i$ оң тұрақтылар, себебі $|z(t)| \le \sup_{-d\le\varsigma\le 0} |z(\varsigma+t)|$.

$\alpha_2 = \tilde{\alpha}_2 + \hat{\alpha}_2$ анықтасақ, (22), (23), және (26) мынау шығады

$$\breve{\alpha}_1(|z(t)|) \le V_n(z(t)) \le \alpha_2(\sup_{-d\le\varsigma\le 0} |z(\varsigma+t)|) \tag{27}$$

(21) және (22)-ден келесі бағалауды аламыз:

$$\begin{aligned}\dot{V} &= L\frac{\partial V_n}{\partial z}E(z) + \frac{\partial V_n}{\partial z}F(z) + \sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda}{1-\vartheta}\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - \sum_{i=1}^{n}\lambda\|z(t-d(t))\|_\Delta^{2\sigma} \\ &\le -\left(m_1 L - (2+m_2(1+\delta))L^{1-\gamma_{\min}} - \sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda}{1-\vartheta}\right)\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} - \left(\lambda - m_3 L^{1-\gamma_{\min}}\right)\sum_{i=1}^{n}\|z(t-d(t))\|_\Delta^{2\sigma} + \frac{\rho_1}{L^{1-\gamma_{\max}}}.\end{aligned} \tag{28}$$

Бұдан, егер L былайша таңдасақ, $L > \max\left\{1, (((2+m_2(1+\delta)+m_3)/m_1))^{-\gamma_{\min}}\right\}$ және $\lambda = m_3 L^{1-\gamma_{\min}}$, мұндағы $\rho_1 = n\sum_{i=1}^{n}\left(m_2\bar{C}_2\right)^{2\sigma/(\tau+r_i)}$, онда (28) теңсіздігі былай болады

$$\dot{V}(z(t)) \le -L\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} + \frac{\rho_1}{L^{1-\gamma_{\max}}}. \tag{29}$$

(22)-дағы $V_n(z)$ және $U(z)$ біртекті дәрежесі Δ кеңейтілу салмағына қатысты сәйкесінше $2\sigma-\tau$ және 2σ болады. Бұдан, А2 леммадан төмендегіні қанағаттандыратын λ_1, λ_2, ϖ_1 және ϖ_2 оң тұрақтылар болады

$$\lambda_1\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau} \le V_n(z(t)) \le \lambda_2\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma-\tau} \text{ және} \tag{30}$$

$$\varpi_1\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma} \le U(z(t)) \le \varpi_2\|z(t)\|_\Delta^{2\sigma}. \tag{31}$$

Сонымен қатар, А4 леммадан мынаны аламыз

$$\lambda_2 \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma-\tau} = L\left(\left(\lambda_2 / L \right)^{1/\tau} \right)^{\tau} \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma-\tau} \le \frac{2\delta-\tau}{2\sigma} L \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma} + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \quad (32)$$

Онда,

$$V(z(t)) \le \rho_2 L \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma} + \frac{\tau}{2\sigma L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau}, \quad (33)$$

немесе

$$\frac{1}{\rho_2} V(z(t)) \le L \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma} + \frac{\tau}{2\sigma\rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau}, \quad (34)$$

мұндағы $\rho_2 =: \left(\varpi_2 + (2\delta - \tau)/2\sigma \right)$.

Онда, (22) және (33) қолданып,

$$\begin{aligned} \dot{V}(z(t)) &\le -\left(L \left\| z(t) \right\|_{\Delta}^{2\sigma} + \frac{\tau}{2\sigma\rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \right) + \frac{\tau}{2\sigma\rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \frac{\rho_1}{L^{1-\gamma_{\max}}} \\ &\le -\frac{1}{\rho_2} V(z(t)) + \overline{\rho}_1, \end{aligned} \quad (35)$$

мұндағы $\overline{\rho}_1 = \frac{\tau}{2\sigma\rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \frac{\rho_1}{L^{1-\gamma_{\max}}}$.

$$\frac{d}{dt}\left(e^{t/\rho_2} V(z(t)) \right) \le e^{t/\rho_2} \overline{\rho}_1 \quad (36)$$

екі жағынан интегралдай отырып,

$$e^{t/\rho_2} V(z(t)) - V(z(0)) \le \overline{\rho}_1 \left(e^{t/\rho_2} - 1 \right). \quad (37)$$

Бұдан, барлық $t > T$ үшін $T > 0$ бар болады

$$V(z(t)) \le e^{-t/\rho_2} V(z(0)) + \overline{\rho}_1 \left(1 - e^{-t/\rho_2} \right) \le 3\overline{\rho}_1 \quad (38)$$

Ол мынаған әкеледі

$$\left| y(t) - y_r(t) \right| = \left| z_1(t) \right| \le \frac{3\tau}{2\sigma\rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \frac{3\rho_1}{L^{1-\gamma_{\max}}}, \ \forall\ t > T > 0.$$

Осылайша, кез келген $\varepsilon > 0$ үшін жеткілікті үлкен мәнді L бар болып,

$$\left| y(t) - y_r(t) \right| \le \varepsilon, \ \ \forall\ t > T > 0.$$

Бұл теореманың дәлелдеуін аяқтайды.

3. Сандық мысал

Келесі түрдегі сызықтық емес жүйені қарастырайық,

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2^{\frac{7}{3}}(t) + x_1^{\frac{1}{5}}\big(t - d(t)\big) \\ \dot{x}_2(t) = x_3^{\frac{5}{3}}(t) + 2x_2(t) \\ \dot{x}_3(t) = \mathrm{u}(t) + x_3^{\frac{1}{5}}(t) \\ y(t) = x_1(t) \end{cases}$$

мұндағы $p_1 = \frac{7}{3}, p_2 = \frac{5}{3}$, $p_3 = 1, \mathrm{d}(t) = \frac{1}{5}sint$. Басқарудың мақсаты $x_1(t)$ күйін тек $y(t)$ өлшемін пайдаланып, уақыт бойынша өзгеріп отыратын $y_r(t)$ тірек сигналының ізіне түсуін мәжбірлеу болып табылады. Бұл ізге түсіру мәселесінде $y_r(t)$ белгілі болуы шарт емес. $\tau = \frac{2}{5}$ деп алып

$$r_1 = 1,\ r_2 = \frac{r_1 + \tau}{p_1} = \frac{3}{5}, \qquad r_3 = \frac{r_2 + \tau}{p_2} = \frac{3}{5},\ r_4 = \frac{r_3 + \tau}{p_3} = 1$$

болатындығын аламыз. А4 лемма бойынша келесі бағалауды аламыз

$$|\varphi_1(\cdot)| = |x_1(t - d_1(t))|^{\frac{1}{5}} \le 2^{\frac{6}{5}}\big|x_1\big(t - d_1(t)\big)\big|^{\frac{1}{5}} \le \frac{1}{7}\big|x_1\big(t - d_1(t)\big)\big|^{\frac{7}{5}} + \frac{6}{7}2^{\frac{7}{5}}$$

$$|\varphi_2(\cdot)| = |2x_2(t)| \le 2^{\frac{5}{3}}|x_2(t)| \le \frac{3}{5}|x_2(t)|^{\frac{5}{3}} + \frac{2}{5}2^{\frac{5}{3}}$$

$$|\varphi_3(\cdot)| = |x_3(t)|^{\frac{1}{5}} \le 2^{\frac{6}{5}}|x_3(t)|^{\frac{1}{5}} \le \frac{1}{7}|x_3(t)|^{\frac{7}{5}} + \frac{6}{7}2^{\frac{7}{5}}$$

$$0 \le d(t) \le \frac{1}{5},\ \ d'(t) = \frac{1}{5}cost \le \frac{1}{5} < 1$$

$$k_1 = 0, \qquad k_2 = \frac{k_1 + 1}{p_1} = \frac{3}{7}, \qquad k_3 = \frac{k_2 + 1}{p_2} = \frac{6}{7}$$

$$z_1(t) = x_1(t) - y_r(t), \qquad z_2(t) = \frac{x_2(t)}{L^{k_2}} = \frac{x_2(t)}{L^{\frac{3}{7}}}, \qquad z_3(t) = \frac{x_3(t)}{L^{\frac{6}{7}}}, v(t) = \frac{u(t)}{L^{\frac{13}{7}}}$$

Мұндағы $L \ge 1$, $y_r(t) = \sin\left(\frac{t}{5}\right) + sint$

$$|y_r(t)| = \left|\sin\left(\frac{t}{5}\right) + sint\right| \le 2$$

$$|\dot{y}_r(t)| = \left|\frac{1}{5}\cos\left(\frac{t}{5}\right) + cost\right| \le \frac{6}{5}$$

$$C_1 \ge \frac{1}{7}, \qquad C_2 \ge \frac{6}{7}$$

$$|y_r(t)| + |\dot{y}_r(t)| \le D \ \Rightarrow\ D \ge 4$$

$$u = -2L^{\frac{13}{7}}\left(L^{\frac{6}{7}}x_3 + 2\left(L^{\frac{7}{3}}x_2 + 2\left(x_1(t) - \sin\left(\frac{t}{5}\right) + sint\right)\right)\right)^{\frac{7}{5}}$$

4. Қорытынды

Бұл мақалада біз [24] нәтижесін кеңейту арқылы күй кері байланысы арқылы жоғары дәрежелі уақытқа тәуелді кешігуі бар сызықтық емес жүйелер класы үшін кең ауқымды практикалық ізге түсіру мәселесін шешуге тырысамыз. Кейбір өлшеулі шарттарда алдымен масштабтаудың реттелетін коэффициентті күй кері байланыс контроллерін құрамыз. Содан кейін, жабық жүйенің барлық күйлері шектелген жағдайда өсуге шектелген шартты кешігуі бар сызықтық еместікті үстемдік етіп және ізге түсіру қателігін мейілінше аз жасайтындай етіп Ляпунов – Красовкий функционалы арқылы масштабтау коэффициенті реттеледі. Ұсынылып отырған контроллер күйдің барлық векторлары өлшеулі болған жағдайда ғана жақсы жұмыс жасайтынын ескерген жөн. Сондықтан, күйдің тек жартылай векторлары өлшеулі болған жағдайда уақытқа тәуелді кешігуі бар сызықтық емес жүйелері үшін шығысын кері байланыс арқылы ізге түсіру контроллерін құру өзекті мәселе болып табылады, және алдыңғы уақытта зерттеуге алынады.

Қосымша

(1) түрдегі уақытқа тәуелді кешігуі бар сызықтық емес жүйелер үшін күй кері байланыс контроллерін құру үшін біз бұл бөлімде біртекті функция анықтамасын беріп, осы мақалада қолданылатын кейбір леммаларды көрсетеміз.

Анықтама А1[27]. $x=(x_1,\ldots,x_n)\in R^n$ координаталар жиыны мен n-кортежді $r=(r_1,\ldots,r_n)$ оң нақты сандары үшін келесі анықтамаларды енгіземіз.

$$\Delta_s(x) \text{ кеңейтілуі } \Delta_s^r(x)=\left(s^{r_1}x_1,\cdots,s^{r_n}x_n\right),\quad \forall x=(x_1,\ldots,x_n)\in R^n,$$

$\forall s>0$ арқылы анықталатын бейнелеу, мұндағы r_i *координата салмағы* деп аталады. Ыңғайлы болу үшін $\Delta=(r_1,\ldots,r_n)$ деп белгілейміз.

$V\in C(R^n,R)$ функциясы τ*біртекті дәрежелі* деп аталады, егер $\tau\in R$ нақты саны бар болып, ол

$$V(\Delta_s^r(x))=s^{\tau}V(x_1,\cdots,x_n),\quad \forall x\in R^n-\{0\}\ .$$

$f\in C(R^n,R^n)$ векторлар өрісі τ*біртекті дәрежелі* деп аталады, егер f_i компоненті әрбір i үшін $\tau+r_i$ біртекті дәрежелі болса, яғни $f_i(\Delta_s^r(x))=s^{\tau+r_i}f_i(x_1,\cdots,x_n),\ \forall x\in R^n,\ \forall s>0,\ \text{for}\, i=1,\ldots,n$.

Біртекті p -нормасы былайша анықталады

$$\|x\|_{\Delta,p}=\left(\sum_{i=1}^{n}|x_i|^{p/r_i}\right)^{1/p},\ \forall x\in\mathbb{R}^n,\ p\geq 1.$$

Ыңғайлылық үшін $\|x\|_{\Delta,2}$ үшін $\|x\|_{\Delta}$.

Әрі қарай біз бірнеше техникалық леммаларды қарастырамыз, олар маңызды рөл атқарады және басқаруды құруда қолданылады.

Лемма А1[27]. $\Delta=(r_1,..,r_n)$ кеңейтілу салмағы деп белгілейміз, және $V_1(x)$ пен $V_2(x)$ сәйкесінше τ_1 және τ_2 дәрежелі біртекті функция деп ұйғарамыз. Онда, сол Δ кеңейтілуге қатысты $\tau_1+\tau_2$ дәрежелі сондай - ақ $V_1(x)V_2(x)$ біртекті функция болады.

Лемма А2[27]. Δ кеңейтілу салмағына қатысты $V:R^n\to R$ τ дәрежелі біртекті функция деп ұйғаралық. Онда келесі (i) және (ii) шарттары орындалады:

$\partial V/\partial x_i$ $\tau-r_i$ дәрежелі біртекті болады, сонымен қатар r_i- x_i қатысты біртектілік салмағы болып табылады.

$\sigma>0$ тұрақтысы бар болып, $V(x)\leq\sigma\|x\|_{\Delta}^{\tau}$. Сондай – ақ, егер $V(x)$ оң анықталған болса, онда $\rho>0$ тұрақтысы бар болады және $\rho\|x\|_{\Delta}^{\tau}\leq V(x)$.

Лемма А3[26]. Барлық $x,y\in R$ және $p\geq 1$ тұрақтылары үшін мына теңсіздік орындалады:

$$|x+y|^p\leq 2^{p-1}\left|x^p+y^p\right|,\ \left(|x|+|y|\right)^{1/p}\leq|x|^{1/p}+|y|^{1/p}\leq 2^{(p-1)/p}\left(|x|+|y|\right)^{1/p}$$

Егер $p\in R_{odd}^{\geq 1}$, онда

$$|x-y|^p\leq 2^{p-1}\left|x^p-y^p\right|\ \text{және}\ \left|x^{1/p}-y^{1/p}\right|\leq 2^{(p-1)/p}|x-y|^{1/p}.$$

Лемма А4[25]. Айталық, c,d - оң тұрақтылар. Онда кез нақтылы мәнді $\gamma(x,y)>0$ функциясы үшін мына теңсіздік орындалады:

$$|x|^c|y|^d\leq\frac{c}{c+d}\gamma(x,y)|x|^{c+d}+\frac{d}{c+d}\gamma^{-c/d}(x,y)|y|^{c+d}.$$

Қаржыландыру

Жұмыс ақпараттық және есептеу технологиялары институтында, ҚР БҒМ ҒК AP05131207 «Терең нейрондық желілерді қолдана отырып, сөйлеуі автоматты түрде тану технологиясын жасау» (2018 - 2020) гранттық жобасы аясында орындалды.

Қолданылған әдебиеттер

[1] Qian C., Lin W. Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization // IEEE Trans. on Automatic Control. – 2002. – V. 47. – P. 21-36.

[2] Lin W., Pongvuthithum R. Adaptive output tracking of inherently nonlinear systems with nonlinear parameterization // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2003. – Vol. 48 (10). – P. 1737-1749.

[3] Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of non-linear systems by output feedback // Proc. the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference. – Seville, Spain. – 2005. – P. 7278-7283.

[4] Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of nonlinear systems by output feedback // Automatica. – 2007. V. 43 (1). – P. 184-189.

[5] Sun Z.Y., Liu Y.G. Adaptive practical output tracking control for high-order nonlinear uncertain systems // Acta Automatica Sinica. – 2008. – V. 34. – P. 984-989.

[6] Alimhan K., Inaba H. Practical output tracking by smooth output compensator for uncertain nonlinear systems with unstabilisable and undetectable linearization // Int. J. of Modelling, Identification and Control. – 2008. – V. 5. – P. 1-13.

[7] Alimhan K., Inaba H., Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems // Int. J. of Modelling, Identification and Control. – 2008. V. 4. – P. 304-314.

[8] Zhai J., Fei S. Global practical tracking control for a class of uncertain non-linear systems // IET Control Theory and Applications. – 2011. – V. 5. – P. 1343-1351.

[9] Alimhan K., Otsuka N. A note on practically output tracking control of nonlinear systems that may not be linearizable at the origin // Communications in Computer and Information Science, 256 CCIS. – 2011. – P. 17-25.

[10] Alimhan K., Otsuka N., Adamov A. A., Kalimoldayev M. N. Global practical output tracking of inherently non-linear systems using continuously differentiable controllers // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – Article ID 932097. – 10 pages.

[11] Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M. N., Adamov A. A. Further results on output tracking problem of uncertain nonlinear systems with high-order nonlinearities // Int. J. of Control and Automation. – 2016. – V. 9. – P. 409-422.

[12] Sun Z., Liu Y., Xie X. Global stabilization for a class of high-order time-delay nonlinear systems // Int. J. of Innovative Computing, Information and Control. – 2011. – V. 7. – P. 7119-7130.

[13] Sun Z, Xie X, Liu Z. Global stabilization of high-order nonlinear systems with multiple time delays // Int. J. of Control. – 2013. – V. 86. – P. 768-778.

[14] Gao F., Yuan F., Wu Y. Global stabilisation of high-order non-linear systems with time-varying delays // IET Control Theory & Applications. – 2013. – V. 7 (13). – P. 1737-1744.

[15] Lin C. Global output control for a class of inherently higher-order nonlinear time-delay systems based on homogeneous domination approach // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2013. – Article ID 180717, 6 pages.

[16] Zhang N., Zhang E., Gao F. Global stabilization of high-order time-delay nonlinear systems under a weaker condition // Abstract and Applied Analysis. – 2014. – Article ID 931520, 8 pages.

[17] Gao F., Wu Y. Further results on global state feedback stabilization of high-order nonlinear systems with time-varying delays // ISA Trans. – 2015. – V. 55. - P. 41-48.

[18] Gao F., Wu Y., Yuan F. Global output feedback stabilisation of high-order nonlinear systems with multiple time-varying delays // International Journal of Systems Science. – 2016. – V. 47 (10). – P. 2382-2392.

[19] Zhang X., Lin W., Lin Y. Nonsmooth feedback control of time-delay nonlinear systems: a dynamic gain based approach // IEEE Trans. on Automatic Control. – 2017. – V. 62. – P. 438-444.

[20] Yan X., Song X. Global practical tracking by output feedback for nonlinear systems with unknown growth rate and time delay // The Scientific World J. – 2014. – Article ID 713081, 7 pages.

[21] Jia X., Xu S., Chen J., Li Z., Zou Y. Global output feedback practical tracking for time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // J. of the Franklin Institute. – 2005. – V. 352. – P. 5551-5568.

[22] Jia X., Xu S. Global practical tracking by output feedback for nonlinear time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // Proc. of the 34th Chinese Control Conference. – 2015. – P. 607-611.

[23] Jia X., Xu S., Ma Q., Qi Z., Zou Y. Global practical tracking by output feedback for a class of non-linear time-delay systems // IMA J. of Mathematical Control and Information. – 2016. – V. 33. – P. 1067-1080.

[24] Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M.N., Tasbolatuly N. Output Tracking by State Feedback for High-Order Nonlinear Systems with Time-Delay // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2019. – Vol. 97, No. 3. – P. 942-956.

[25] Polendo J., Qian C. A generalized homogeneous domination approach for global stabilization of inherently nonlinear systems via output feedback // Int. J. of Robust and Nonlinear Control. – 2007. – vol. 7, No. 7. – P. 605-629.

[26] Polendo J., Qian C. A universal method for robust stabilization of nonlinear systems: unification and extension of smooth and non-smooth approaches // Proc. of the American Control Conference. – 2006. – P. 4285-4290.

[27] Rosier L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector fields // Systems & Control Letters. – 1992. – V. 19. – P. 467-473.

[28] Khalil H. K. Nonlinear Systems, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1996.

ҚҰРАҚ-ТҰРАҚТЫ АРГУМЕНТТІ СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН СЫЗЫҚТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУ ҮШІН КОШИ ЕСЕБІ ШЕШІМІНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ЖІКТЕЛУІ

Ахмет М.У.[1], Дауылбаев М.К.[2,3], Мирзакулова А.Е.[2,4]
e-mail: marat@metu.edu.tr, mdauylbayev@gmail.com,
mirzakulovaaziza@gmail.com
[1]Орта-Шығыс Техникалық университеті, Түркия,
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

[3]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты ҚР БҒМ ҒК, Қазақстан,
[4]Математика және математикалық моделдеу институты ҚР БҒМ ҒК, Қазақстан

Аннотация. *Жұмыста құрақ-тұрақты аргументті сингулярлы ауытқыған сызықты дифференциалдық теңдеу үшін Коши есебі шешімінің кіші параметр бойынша кез келген дәлдікпен бірқалыпты асимптотикалық жіктелуін құру алгоритмі көрсетілді.*

Құрақ-тұрақты аргументті сингулярлы ауытқыған сызықты дифференциалдық теңдеуге қойылған келесі Коши есебін қарастырамыз:

$$\varepsilon y''(t) + A(t)y'(t) + B(t)y(\beta(t)) = F(t) \tag{1}$$

$$y(0,\varepsilon) = \alpha_0, \quad y'(0,\varepsilon) = \alpha_1, \tag{2}$$

мұндағы $\varepsilon > 0$ - кіші параметр, $\alpha_0, \quad \alpha_1$ - белгілі шамалар. Құрақ-тұрақты функция $\beta(t) = \theta_i$, егер $t \in [\theta_i, \theta_{i+1}), \quad i = \overline{1,p}, \; 0 < \theta_1 < \theta_2 < \ldots < \theta_p < T$ түрінде анықталады.

Келесі шарттар орындалсын:

(С1) $A(t), \quad B(t), \quad F(t)$ функциялары $0 \le t \le T$ аралығында үзіліссіз дифференциалданады.

(С2) $A(t) > 0, \quad 0 \le t \le T.$

(1), (2) Коши есебі шешімінің $\theta_i < t < \theta_{i+1}, \quad i = \overline{0,p}$ аралығындағы формальды асимптотикалық жіктелуін келесі түрде іздейміз:

$$y(t,\varepsilon) = y_\varepsilon(t) + \varepsilon w_\varepsilon^{(i)}(\tau_i), \quad \tau_i = \frac{t-\theta_i}{\varepsilon}, \tag{3}$$

мұндағы

$$y_\varepsilon(t) = y_0(t) + \varepsilon y_1(t) + \varepsilon^2 y_2(t) + \ldots + \varepsilon^k y_k(t) + \ldots \tag{4}$$

$$w_\varepsilon^{(i)}(\tau_i) = w_0^{(i)}(\tau_i) + \varepsilon w_1^{(i)}(\tau_i) + \varepsilon^2 w_2^{(i)}(\tau_i) + \ldots + \varepsilon^k w_k^{(i)}(\tau_i) + \ldots \tag{5}$$

(4) қатары асимптотиканың *регулярлы бөлігі*, ал (5) қатары асимптотиканың *шекаралық қабатты бөлігі* деп аталады.

(3) функцияны (1) теңдеуге қойып, нәтижеде келесі теңдікті аламыз:

$$\varepsilon\left(y_\varepsilon''(t) + \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2}\ddot{w}_\varepsilon^{(i)}(\tau_i)\right) + A(t)\left(y_\varepsilon'(t) + \frac{\varepsilon}{\varepsilon}\dot{w}_\varepsilon^{(i)}(\tau_i)\right) + B(t)\left(y_\varepsilon(\theta_i) + \varepsilon w_\varepsilon^{(i)}(0)\right) = F(t) \tag{6}$$

(6) теңдеуінен t және τ_i айнымалыларынан тәуелді теңдеулерді бөлек жазамыз:

$$\varepsilon y_\varepsilon''(t) + A(t)y_\varepsilon'(t) + B(t)y_\varepsilon(\theta_i) = F(t) \tag{7}$$

$$\ddot{w}_\varepsilon^{(i)}(\tau_i) + A(\theta_i + \varepsilon\tau_i)\dot{w}_\varepsilon^{(i)}(\tau_i) + \varepsilon B(\theta_i + \varepsilon\tau_i)w_\varepsilon^{(i)}(0) = 0 \tag{8}$$

(7) теңдеуіне (4) қатарын қоямыз:

$$\varepsilon\left(y_0''(t) + \varepsilon y_1''(t) + \ldots + \varepsilon^k y_k''(t) + \ldots\right) + A(t)\left(y_0'(t) + \varepsilon y_1'(t) + \ldots + \varepsilon^k y_k'(t) + \ldots\right) + \tag{9}$$

$$+B(t)\left(y_0(\theta_i) + \varepsilon y_1(\theta_i) + \ldots + \varepsilon^k y_k(\theta_i) + \ldots\right) = F(t)$$

(9) теңдеудің екі жағындағы бірдей дәрежелі кіші параметрдің алдындағы коэффициенттерді теңестіріп, $y_k(t),\ k = 0,1,\ldots$ функцияларын анықтайтын теңдеулер тізбегін аламыз:

$$\varepsilon^0: \quad A(t)y_0'(t) + B(t)y_0(\theta_i) = F(t) \tag{10_0}$$

$$\varepsilon^1: \quad A(t)y_1'(t) + B(t)y_1(\theta_i) = -y_0''(t) \tag{10_1}$$

$$\varepsilon^k: \quad A(t)y_k'(t) + B(t)y_k(\theta_i) = -y_{k-1}''(t) \tag{10_k}$$

$A(\theta_i + \varepsilon\tau_i),\ B(\theta_i + \varepsilon\tau_i)$ функцияларын ε дәрежесі бойынша θ_i нүктесінің маңайында Тейлор қатарына жіктейміз:

$$A(\theta_i + \varepsilon\tau_i) = A(\theta_i) + \frac{\varepsilon\tau_i}{1!}A'(\theta_i) + \frac{(\varepsilon\tau_i)^2}{2!}A''(\theta_i) + \ldots + \frac{(\varepsilon\tau_i)^k}{k!}A^{(k)}(\theta_i) + \ldots$$

$$B(\theta_i + \varepsilon\tau_i) = B(\theta_i) + \frac{\varepsilon\tau_i}{1!}B'(\theta_i) + \frac{(\varepsilon\tau_i)^2}{2!}B''(\theta_i) + \ldots + \frac{(\varepsilon\tau_i)^k}{k!}B^{(k)}(\theta_i) + \ldots$$

(8) теңдеуіне (5) қатарын қоямыз:

$$\ddot{w}_0^{(i)}(\tau_i) + \varepsilon\ddot{w}_1^{(i)}(\tau_i) + \ldots + \varepsilon^k\ddot{w}_k^{(i)}(\tau_i) + \ldots + \left(A(\theta_i) + \frac{\varepsilon\tau_i}{1!}A'(\theta_i) + \right.$$

$$\left. + \frac{(\varepsilon\tau_i)^2}{2!}A''(\theta_i) + \ldots + \frac{(\varepsilon\tau_i)^k}{k!}A^{(k)}(\theta_i) + \ldots\right)\left(\dot{w}_0^{(i)}(\tau_i) + \varepsilon\dot{w}_1^{(i)}(\tau_i) + \ldots + \varepsilon^k\dot{w}_k^{(i)}(\tau_i) + \ldots\right) +$$

$$+\left(B(\theta_i)+\frac{\varepsilon\tau_i}{1!}B'(\theta_i)+\frac{(\varepsilon\tau_i)^2}{2!}B''(\theta_i)+\ldots+\frac{(\varepsilon\tau_i)^k}{k!}B^{(k)}(\theta_i)+\ldots\right)\cdot$$

$$\cdot\left(w_0^{(i)}(0)+\varepsilon w_1^{(i)}(0)+\ldots+\varepsilon^k w_k^{(i)}(0)+\ldots\right)=0 \qquad (11)$$

(11) теңдеудің екі жағындағы бірдей дәрежелі кіші параметрдің алдындағы коэффициенттерді теңестіріп, $w_k^{(i)}(\tau_i),\quad k=0,1,\ldots$ функцияларын анықтайтын теңдеулер тізбегін аламыз:

$$\varepsilon^0:\quad \ddot{w}_0^{(i)}(\tau_i)+A(\theta_i)\dot{w}_0^{(i)}(\tau_i)=0 \qquad (12_0)$$

$$\varepsilon^1:\quad \ddot{w}_1^{(i)}(\tau_i)+A(\theta_i)\dot{w}_1^{(i)}(\tau_i)=\Phi_1(\tau_i) \qquad (12_1)$$

$$\varepsilon^k:\quad \ddot{w}_k^{(i)}(\tau_i)+A(\theta_i)\dot{w}_k^{(i)}(\tau_i)=\Phi_k(\tau_i), \qquad (12_k)$$

мұндағы

$$\Phi_k(\tau_i)=-\sum_{l=1}^{k}\frac{(\tau_i)^{l-1}}{(l-1)!}B^{(l-1)}(\theta_i)w_{k-l}^{(i)}(0)-\sum_{m=1}^{k}\frac{(\tau_i)^m}{m!}A^{(m)}(\theta_i)\dot{w}_{k-m}^{(i)}(\tau_i). \qquad (13)$$

(2) бастапқы шарттарды шешімнің (3) асимптотикалық жіктелуіне қойып, бірдей дәрежелі кіші параметрдің алдындағы коэффициенттерді теңестіріп, қажетті шарттарды табамыз:

$$y_0(0)+\varepsilon y_1(0)+\ldots+\varepsilon^k y_k(0)+\ldots+\varepsilon\left(w_0^{(0)}(0)+\varepsilon w_1^{(0)}(0)+\ldots+\varepsilon^k w_k^{(0)}(0)+\ldots\right)=\alpha_0$$

$$y_0'(0)+\varepsilon y_1'(0)+\ldots+\varepsilon^k y_k'(0)+\ldots+\dot{w}_0^{(0)}(0)+\varepsilon\dot{w}_1^{(0)}(0)+\ldots+\varepsilon^k\dot{w}_k^{(0)}(0)+\ldots=\alpha_1$$

Бұдан

$$\varepsilon^0:\quad y_0(0)=\alpha_0,\quad \dot{w}_0^{(0)}(0)=\alpha_1-y_0'(0) \qquad (14_0)$$

$$\varepsilon^1:\quad y_1(0)=-w_0^{(0)}(0),\quad \dot{w}_1^{(0)}(0)=-y_1'(0) \qquad (14_1)$$

$$\varepsilon^k:\quad y_k(0)=-w_{k-1}^{(0)}(0),\quad \dot{w}_k^{(0)}(0)=-y_k'(0) \qquad (14_k)$$

шарттарын аламыз. Шекаралық қабатты $w_k^{(i)}(\tau_i),\quad k=0,1,\ldots$ функцияларды табу үшін тағы да бір шарт қажет, себебі (12_0)- (12_k) теңдеулердің реті екіге тең. Ол үшін

ең алдымен (12_0) теңдеуін $[\tau_i,\infty)$ аралығында интегралдап, $w_0^{(i)}(\infty)=0,\quad \dot{w}_0^{(i)}(\infty)=0$ шартын ескерсек, келесі теңдікті аламыз:

$$w_0^{(i)}(\tau_i)=-\frac{1}{A(\theta_i)}\dot{w}_0^{(i)}(\tau_i) \tag{15}$$

(15) теңдігіне $\tau_0=0$ қойып, қажетті шартты аламыз:

$$w_0^{(0)}(0)=-\frac{1}{A(0)}\left(\alpha_1-y_0'(0)\right) \tag{16}$$

Дәл осылайша,

$$w_k^{(0)}(0)=-\frac{1}{A(0)}\left(-y_k'(0)+\int_0^{\infty}\Phi_k(s)ds\right) \tag{17}$$

шартын табамыз. Сонымен, қорытындысында келесі есептерді аламыз.

Регулярлы мүшелерді анықтайтын есептер:

$$\begin{cases} A(t)y_0'(t)+B(t)y_0(\theta_i)=F(t), \\ y_0(0)=\alpha_0 \end{cases} \tag{18_0}$$

$$\begin{cases} A(t)y_1'(t)+B(t)y_1(\theta_i)=-y_0''(t), \\ y_0(0)=-w_0^{(0)}(0) \end{cases} \tag{18_1}$$

$$\begin{cases} A(t)y_k'(t)+B(t)y_k(\theta_i)=-y_{k-1}''(t), \\ y_k(0)=-w_{k-1}^{(0)}(0) \end{cases} \tag{18_k}$$

Шекаралық қабатты мүшелерді анықтайтын есептер:

$$\begin{cases} \ddot{w}_0^{(i)}(\tau_i)+A(\theta_i)\dot{w}_0^{(i)}(\tau_i)=0, \\ w_0^{(0)}(0)=-\frac{1}{A(0)}\left(\alpha_1-y_0'(0)\right), \\ \dot{w}_0^{(0)}(0)=\alpha_1-y_0'(0) \end{cases} \tag{19_0}$$

$$\begin{cases} \ddot{w}_k^{(i)}(\tau_i) + A(\theta_i)\dot{w}_k^{(i)}(\tau_i) = \Phi_k(\tau_i), \\ w_k^{(0)}(0) = -\dfrac{1}{A(0)}\left(-y_k'(0) + \int\limits_0^\infty \Phi_k(s)ds\right), \\ \dot{w}_k^{(0)}(0) = -y_k'(0) \end{cases} \tag{19k}$$

Бастапқы есеп шешімінің асимптотикасының қалдық мүшесін бағалау. Келесі дербес қосындыны құрайық:

$$y_N(t,\varepsilon) = \sum_{k=0}^{N} \varepsilon^k y_k(t) + \varepsilon \sum_{k=0}^{N} \varepsilon^k w_k^{(i)}(\tau_i), \quad \tau_i = \frac{t-\theta_i}{\varepsilon}, \quad \theta_i < t < \theta_{i+1}, \quad i = \overline{0,p}, \tag{20}$$

мұндағы $N \geq 0$ – бүтін сан, $y_k(t), w_k(\tau_i)$ функциялары сәйкесінше асимптотиканың регулярлы және шекаралық мүшелері.

(20) функцияны (1) теңдеуге қойып, нәтижеде

$$\varepsilon y_N''(t,\varepsilon) + A(t)y_N'(t,\varepsilon) + B(t)y_N(\beta(t)) = F(t) + O\left(\varepsilon^{N+1}\right) \tag{21}$$

теңдігін аламыз, яғни $y_N(t,\varepsilon)$ функциясы (1) теңдеуді $O\left(\varepsilon^{N+1}\right)$ дәлдікпен қанағаттандырады.

(20) функцияға (2) бастапқы шарттарды қолдансақ,

$$y_N(0,\varepsilon) = \alpha_0 + O(\varepsilon^{N+1}), \quad y_N'(0,\varepsilon) = \alpha_1 \tag{22}$$

шарттарын аламыз.

Дәл шешім мен жуық шешімнің айырмасын

$$R_N(t,\varepsilon) = y(t,\varepsilon) - y_N(t,\varepsilon) \quad \Rightarrow \quad y(t,\varepsilon) = y_N(t,\varepsilon) + R_N(t,\varepsilon) \tag{23}$$

белгілеуі түрінде енгіземіз. $R_N(t,\varepsilon)$ функциясы *асимптотиканың қалдық мүшесі* деп аталады.

(23) формуладағы $y(t,\varepsilon)$ шешімін (1) теңдеуге қойып, нәтижеде $y_N(t,\varepsilon)$ функциясы (21) теңдеуді және (22) шарттарды қанағаттандыратынын ескерсек, онда $R_N(t,\varepsilon)$ қалдық мүше үшін келесі түрдегі есепті аламыз:

$$\varepsilon R_N''(t,\varepsilon) + A(t)R_N'(t,\varepsilon) + B(t)R_N(\beta(t),\varepsilon) = O\left(\varepsilon^{N+1}\right), \tag{24}$$

$$R_N(0,\varepsilon) = O(\varepsilon^{N+1}), \quad R_N'(0,\varepsilon) = 0.$$

(24) бастапқы есебінің типі (1), (2) бастапқы есебінің типімен ұқсас болғандықтан, (24) бастапқы есебінің шешіміне белгілі бағалауларды қолданып, (24) есебі шешімнің асимптотикалық бағалауын аламыз:

$$\left|R_N(t,\varepsilon)\right| \le C\varepsilon^{N+1} + C\varepsilon^{N+2}e^{-\gamma\frac{t-\theta_i}{\varepsilon}} \le C\varepsilon^{N+1}, \quad \theta_i \le t \le \theta_{i+1}, \quad i=\overline{0,p},$$

$$\left|R_N'(t,\varepsilon)\right| \le C\varepsilon^{N+1} + C\varepsilon^{N+1}e^{-\gamma\frac{t-\theta_i}{\varepsilon}} \le C\varepsilon^{N+1}, \quad \theta_i \le t \le \theta_{i+1}, \quad i=\overline{0,p}.$$

Бұдан шығатын қорытынды: (20) формуламен анықталған $y_N(t,\varepsilon)$ функциясы $O\left(\varepsilon^{N+1}\right)$ дәлдікпен алынған (1), (2) есептің *асимптотикалық шешімі* болады.

Теорема. *Егер (C1), (C2) шарттар орындалса, онда* ε *кіші параметрінің жеткілікті аз мәнінде (1), (2) Коши есебінің* $\theta_i \le t \le \theta_{i+1}, \quad i=\overline{0,p}$ *кесіндісінде* $y(t,\varepsilon)$ *шешімі бар, жалғыз болады және*

$$y(t,\varepsilon) = y_N(t,\varepsilon) + R_N(t,\varepsilon) \tag{25}$$

түрінде болады, мұндағы $y_N(t,\varepsilon)$ *функциясы (20) формуласымен өрнектеледі, ал* $R_N(t,\varepsilon)$ *қалдық мүше үшін келесі бағалаулар орындалады:*

$$\left|R_N^{(q)}(t,\varepsilon)\right| \le C\varepsilon^{N+1}, \quad q=0,1, \quad \theta_i \le t \le \theta_{i+1}, \quad i=\overline{0,p},$$

мұндағы $C>0-$ ε*-нан тәуелсіз тұрақты.*

Әдебиеттер

1. Akhmet M.U. On the reduction principle for differential equations with piecewise constant argument of generalized type // Journal of Mathematical Analysis and Applications. –2007. –№336. – P. 646-663.

2. Akhmet M.U. Stability of differential equations with piecewise constant argument of generalized type // Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications. – 2008. – №68. –P.794-803.

3. Akhmet M.U. Principles of discontinuous dynamical systems. – New York: Springer, 2010.

4. Dauylbaev M.K., Mirzakulova A.E. Boundary-value problems with initial jumps for singularly perturbed integro-differential equations // Journal of Mathematical Sciences. – 2017. – Vol.222, №3. – P.214-225.

5. Akhmet M.U., Dauylbayev M.K., Mirzakulova A.E., Atakhan N. Singularly perturbed linear oscillator with piecewise-constant argument // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. № 1(97) 2018. P. 3-13.

ПАРАБОЛАЛЫҚ ТЕКТЕС ИНТЕГРАЛДЫҚ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН БАСҚАРУ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІЛІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ

Бакирова Э.А.[1,2] , Асанова А.Т.[1,2], Агайдарова А.[3]

e-mail: bakirova1974@mail.ru; assanova@math.kz

[1]Математика және математикалық модельдеу институты, Казахстан
[2]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Казахстан
[3]Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті, Казахстан

Аннотация. *Параметрлері бар параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты шеттік есеп зерттелінеді. Кеңістіктік айнымалыны дискретизациялау көмегімен зерттелінді есеп параметрі бар интегралдық-диф-ференциалдық теңдеулер жүйесі үшін сызықты екі нүктелі шеттік есеппен аппроксимацияланады. Алынған есепті шешу үшін параметрлеу әдісі қолданылады. Аппроксимацияланған есеп Фредгольм интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін арнайы Коши есебінен, шеттік шарты мен бөлу нүктелерінде шешімнің үздіксіздік шарттарынан тұратын пара-пар есепке келтіріледі. Параметрлерге қатысты алгебралық теңдеулер жүйесінің шешілімділігі терминінде аппроксимациялаушы есептің бірмәнді шешілімділігінің шарттары алынды. Бастапқы есеппен оны аппроксимациялаушы параметрі бар интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін сызықты екі нүктелі есептің шешімдерінің жуық бағалауы алынған.*

Параметрлері бар жәй дифференциалдық және интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін шеттік есептері мен параметрлерді идентификациялау есептері деп аталатын басқару есептері соңғы онжылдықтарда белсенді зерттелуде. Реакция-диффузиялық үдерістерді сипаттайтын модельдер параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін басқару есептеріне келтіріледі [1-17]. Параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын математикалық модельдердің параметрлерін идентификациялаудың сандық әдістерін жасау үшін параметрлері бар есептердің шешімдерінің бар болуы, жалғыздығы және тұрақтылығы мәселелері өте маңызды болып табылады [1-17].

Ұсынылып отырған жұмыста параметрлері бар параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты шеттік есеп зерттелінеді. Кеңістіктік айнымалыны дискретизациялау көмегімен қарастырылып отырған есеп өзегі айныған Фредгольм интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін параметрлері бар екі нүктелі шеттік есеппен аппроксимацияланады.

Қосымша параметрлерді [18-23] енгізу арқылы алынған есеп Фредгольм интегралдық –дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін арнайы Коши есебінен, шеттік шарттардан және бөлу нүктелерде шешімнің үзіліссіздік шарттарынан тұратын пара-пар есепке келтіріледі. Фредгольм интегралдық-дифференциалдық

теңдеулер жүйесі үшін арнайы Коши есебіне пара-пар интегралдық теңдеуді және интегралдық қосылғыштың өзегі айңығандығы қасиетін қолдана отырып белгілі бір матрицаның қайтарымды болуын болжап, енгізілген параметрлерге қатысты арнайы Коши есебінің шешімінің кейіптемесін аламыз. Осы кейіптемені ескере отырып, шеттік шарттар мен шешімнің үзіліссіздік шарттарынан параметрлерге қатысты алгебралық теңдеулер жүйесі құрылады.

Параметрлерге қатысты алгебралық теңдеулер жүйесінің шешілімділігі терминінде қарастырылып отырған есептің бірмәнді шешілімділігінің шарттары тағайындалады. Параметрлері бар аппроксимацияланған екі нүктелі шеттік есептің шешілімділігі терминінде параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеу үшін бастапқы есептің шешілімділігінің шарттары алынды.

Параметрлері бар параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты екі нүктелі шеттік есеп қарастырылады

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a(x,t)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c(x,t)u + \int_0^T k(x,s)u(x,s)ds + b(x,t)\mu(x) + f(x,t), \quad (x,t) \in \Omega = (0,\omega)\times(0,T), \quad (1)$$

$$b_0(x)\mu(x) + b_1(x)u(x,0) + b_2(x)u(x,T) = \varphi_1(x), \qquad x \in [0,\omega], \quad (2)$$

$$c_0(x)\mu(x) + c_1(x)u(x,0) + c_2(x)u(x,T) = \varphi_2(x), \qquad x \in [0,\omega], \quad (3)$$

$$u(0,t) = \psi_1(t), \qquad u(\omega,t) = \psi_2(t), \qquad t \in [0,T], \quad (4)$$

мұндағы $u(x,t)$ - ізделінді функция, $\mu(x)$ - белгісіз функционалдық параметр, $a(x,t) \ge a_0 > 0$, $c(x,t) \le 0$, $k(x,t)$, $b(x,t)$, $f(x,t)$ функцилары t бойынша үзіліссіз және Ω-да x бойынша Гельдер бойынша үзіліссіз; $b_k(x), c_k(x)$, $k = \overline{0,2}$, $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$ функциялары $[0,\omega]$ кесіндісінде үзіліссіз; $\psi_1(t)$, $\psi_2(t)$ функциялары $[0, T]$ кесіндісінде үзіліссіз. Шекаралық функциялар жеткілікті дәрежеде тегіс және үйлестіру шарттарын қанағаттандырады деп болжанады.

$(u^*(x,t), \mu^*(x))$ функциялар жұбы (1)-(4) шеттік есебінің шешімі болып табылады, мұндағы Ω-да үзіліссіз, t бойынша бірінші ретті үзіліссіз дербес туындысы бар, x бойынша екінші ретті туындысы бар $u^*(x,t)$ функциясы (1) интегралдық-дифференциалдық теңдеуді және (2)-(4) шеттік шарттарды $\mu(x) = \mu^*(x)$, $x \in [0,\omega]$ болғанда қанағаттандырады.

$\forall h > 0$ алып және x бойынша дискретизация жүргіземіз: $x_i = ih$, $i = \overline{0,P}$, $Ph = \omega$.

Келесі белгілеулер еңгіземіз

$$u_i(t) = u(ih,t),\ \mu_i = \mu(ih),\ a_i(t) = a(ih,t),\ c_i(t) = c(ih,t),\ b_i(t) = b(ih,t),$$

$$k_i(t)=k(ih,t),\quad f_i(t)=f(ih,t),\ b_{k,i}=b_k(ih),\ c_{k,i}=c_k(ih),\ k=\overline{0,2},$$

$$\varphi_{1,i}=\varphi_1(ih),\ \varphi_{2,i}=\varphi_2(ih),\quad i=\overline{0,P}.$$

(1)-(4) есебін төмендегідей жәй дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін екінүктелі шеттік есеппен ауыстырамыз

$$\frac{du_i}{dt}=a_i(t)\frac{u_{i+1}-2u_i+u_{i-1}}{2h}+c_i(t)u_i+\int_0^T k_i(s)u_i(s)ds+b_i(t)\mu_i+f_i(t),\qquad i=\overline{1,P-1},\ (5)$$

$$b_{0,i}\mu_i+b_{1,i}u_i(0)+b_{2,i}u_i(T)=\varphi_{1,i},\qquad i=\overline{0,P},\qquad (6)$$

$$c_{0,i}\mu_i+c_{1,i}u_i(0)+c_{2,i}u_i(T)=\varphi_{2,i},\qquad i=\overline{0,P},\qquad (7)$$

$$u_0(t)=\psi_1(t),\qquad u_P(t)=\psi_2(t),\qquad t\in[0,T],\qquad (8)$$

(8) шартын ескере отырып, μ_0 және μ_P анықтау үшін (6), (7) шарттарынан екі теңдеулер тобын аламыз:

$$\begin{aligned} b_{0,0}\mu_0&=\varphi_{1,0}-b_{1,0}\psi_1(0)-b_{2,0}\psi_1(T)\\ b_{0,P}\mu_P&=\varphi_{1,P}-b_{1,P}\psi_2(0)-b_{2,P}\psi_2(T)\end{aligned},\qquad (9)$$

$$\begin{aligned} c_{0,0}\mu_0&=\varphi_{2,0}-c_{1,0}\psi_1(0)-c_{2,0}\psi_1(T)\\ c_{0,P}\mu_P&=\varphi_{2,P}-c_{1,P}\psi_2(0)-c_{2,P}\psi_2(T)\end{aligned}.\qquad (10)$$

Мұнда (9) және (10) теңдеулері сондай-ақ берілімдердің үйлестіру шарттары болып табылады. Бұл теңдеулерден μ_0 және μ_P мәндерін тауып алып, оларды (10) қатынасына қойсақ, (1)-(4) есебінің бастапқы берілімдерінің үйлестіру шарттарын аламыз. Және керісінше, (10) теңдеуінен μ_0 және μ_P мәндерін анықтап, оларды (9) қатынасына қойсақ, қайтадан (1) - (4) есебінің бастапқы берілімдерінің үйлестіру шарттарын аламыз.

Сонымен, $u_0(t)$, $u_P(t)$ функциялары мен μ_0, μ_P параметрлері белгілі болып табылады.

Осыны ескере отырып, біз (5) - (8) есебін векторлы-матрицалық түрде жаза аламыз

$$\frac{du}{dt}=A(t)u+\int_0^T K(s)u(s)ds+B(t)\mu+f(t),\quad u,\mu\in R^{P-1},\quad t\in(0,T),\qquad (11)$$

$$B_0\mu + B_1u(0) + B_2u(T) = \Phi_1, \qquad \Phi_1 \in R^{P-1}, \tag{12}$$

$$C_0\mu + C_1u(0) + C_2u(T) = \Phi_2, \qquad \Phi_2 \in R^{P-1}, \tag{13}$$

мұнда $u(t) = (u_1(t), u_2(t), ..., u_{P-1}(t))'$, $\mu = (\mu_1, \mu_2, ..., \mu_{P-1})'$ - белгісіз функция және параметр,

$$A(t) = \begin{pmatrix} -\frac{2a_1(t)}{h^2} + c_1(t) & \frac{a_1(t)}{h^2} & 0 & ... & 0 & 0 & 0 \\ \frac{a_2(t)}{h^2} & -\frac{2a_2(t)}{h^2} + c_2(t) & \frac{a_2(t)}{h^2} & ... & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a_3(t)}{h^2} & -\frac{2a_3(t)}{h^2} + c_3(t) & ... & 0 & 0 & 0 \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & 0 & ... & 0 & \frac{a_{P-1}(t)}{h^2} & -\frac{2a_{P-1}(t)}{h^2} + c_{P-1}(t) \end{pmatrix},$$

$$K(s) = diag\{k_1(s), k_2(s), ..., k_{P-1}(s)\}, \qquad B(t) = diag\{b_1(t), b_2(t), ..., b_{P-1}(t)\},$$

$$f(t) = \left(\frac{a_1(t)}{h^2}\psi_1(t) + f_1(t), f_2(t), ..., \frac{a_{P-1}(t)}{h^2}\psi_2(t) + f_{P-1}(t) \right)',$$

$$B_i = diag\{b_{i,1}, b_{i,2}, ..., b_{i,P-1}\}, \quad C_i = diag\{c_{i,1}, c_{i,2}, ..., c_{i,P-1}\}, \qquad i = 0,1,2,$$

$$\Phi_1 = (\varphi_{1,1}(t), \varphi_{1,2}(t), ... \varphi_{1,P-1}(t))', \qquad \Phi_2 = (\varphi_{2,1}(t), \varphi_{2,2}(t), ... \varphi_{2,P-1}(t))'.$$

Мұнда $(P-1)\times(P-1)$-өлшемді $A(t)$, $B(t)$, $K(s)$ матрицалары және $(P-1)$-өлшемді $f(t)$ векторы $[0, T]$ кесіндісінде үзіліссіз, $(P-1)\times(P-1)$-өлшемді B_i, C_i матрицалары тұрақты матрицалар, $i = 0,1,2$, $\|u\| = \max\limits_{i=1,P-1}|u_i|$.

$(u^*(t), \mu^*)$ жұбын (11) - (13) есептің шешімі деп айтамыз, мұндағы $[0, T]$ кесіндісінде үзіліссіз және $(0, T)$ интервалында үзіліссіз дифференциалданатын $u^*(t)$ функциясы $\mu = \mu^*$ болғанда (11) интегралдық-дифференциалдық теңдеуін және (12), (13) шеттік шарттарын қанағаттандырады.

(11) - (13) параметрі бар есепті шешу үшін [24] жұмысындағы жасалған параметрлеу әдісінің алгоритмдері мен Коши есептерін шешудің сандық әдістеріне негізделген тәсіл қолданылады.

Әдіс сүлбесі. $t_0 = 0 < t_1 < \ldots < t_{N-1} < t_N = T$ нүктелері алынады және $[0,T)$ интервалын N ішкі интервалдарға бөлу жүргізіледі: $[0,T) = \bigcup_{r=1}^{N} [t_{r-1}, t_r)$, оны Δ_N деп белгілейміз [20].

$u(t)$ функциясының $[t_{r-1}, t_r)$ интервалына сығылуын $x_r(t)$ деп белгілейік, яғни $u_r(t) = u(t)$, $t \in [t_{r-1}, t_r)$, $r = \overline{1,N}$.

$C([0,T], R^{P-1})$ кеңістігі -- $[0,T]$ кесіндісінде үздіксіз u: $[0,T] \to R^{P-1}$ функцияларының кеңістігі делік, нормасы $\|u\|_1 = \max\limits_{t \in [0,T]} \| u(t) \|$; $C([0,T], \Delta_N, R^{(P-1)N})$ -- $u[t] = (u_1(t), u_2(t), \ldots, u_N(t))$ функциялар жүйесінің кеңістігі, мұндағы $u_r : [t_{r-1}, t_r) \to R^n$, $[t_{r-1}, t_r)$ -да үзіліссіз және ақырлы сол жақ шегі бар $\lim\limits_{t \to t_r - 0} u_r(t)$, $r = \overline{1,N}$, нормасы $\|u[\cdot]\|_2 = \max\limits_{r=\overline{1,N}} \sup\limits_{t \in [t_{r-1}, t_r)} \| u_r(t) \|$.

$\lambda_r = u_r(t_{r-1})$ және $\lambda_{N+1} = \mu$ қосымша параметрлері енгізіліп, әрбір $[t_{r-1}, t_r)$ интервалында $u_r(t)$ функциясының келесі ауыстырулары жасалады:

$$u_r(t) = z_r(t) + \lambda_r, \qquad t \in [t_{r-1}, t_r), \qquad r = \overline{1,N}, \text{ и } \mu = \lambda_{N+1}.$$

(11) - (13) есебі параметрлері бар сызықты шеттік есепке келтіріледі

$$\frac{dz_r}{dt} = A(t)(z_r + \lambda_r) + \sum_{j=1}^{N} \int_{t_{j-1}}^{t_j} K(s)(z_j(s) + \lambda_j) ds + B(t)\lambda_{N+1} + f(t), \ t \in [t_{r-1}, t_r), \quad (14)$$

$$z_r(t_{r-1}) = 0, \qquad r = \overline{1,N}, \quad (15)$$

$$B_0\lambda_{N+1} + B_1\lambda_1 + B_2 \lim_{t \to T-0} z_N(t) + B_2\lambda_N = \Phi_1, \quad (16)$$

$$C_0\lambda_{N+1} + C_1\lambda_1 + C_2 \lim_{t \to T-0} z_N(t) + C_2\lambda_N = \Phi_2, \quad (17)$$

$$\lambda_s + \lim_{t \to t_s - 0} z_s(t) = \lambda_{s+1}, \qquad s = \overline{1,N-1}, \quad (18)$$

мұндағы (18) қатынасы ізделінді функцияның $[0,T]$ кесіндісінің бөлу нүктелеріндегі жалғастыру шарты болып табылады.

(18) қатынасы мен (14) интегралдық-дифференциалдық теңдеулері осы нүктелердегі шешімнің туындыларының үзіліссіздігін қамтамасыз ететін көреміз.

(14)-(18) параметрі бар есептің шешімі деп $(z^*[t],\lambda^*)$ жұбын айтамыз, мұнда $[t_{r-1},t_r)$-да үзіліссіз дифференциалданатын $z_r^*(t)$ компоненті бар $z^*[t]=(z_1^*(t),z_2^*(t),...,z_N^*(t))\in C([0,T],\Delta_N,R^{(P-1)N})$ функциясы және $\lambda^*=(\lambda_1^*,\lambda_2^*,...,\lambda_N^*,\lambda_{N+1}^*)\in R^{(P-1)(N+1)}$ параметрі бар (14) интегралдық-дифференциалдық теңдеуін, (15) бастапқы шартын, (16)-(18) қатынастарын $\lambda_j=\lambda_j^*$, $j=\overline{1,N+1}$ болғанда қанағаттандырады.

Егер $(u^*(t),\mu^*)$ жұбы (11)- (13) есебінің шешімі болса, онда $(z^*[t],\lambda^*)$ жұбы, мұндағы $z^*[t]=(z_1^*(t),z_2^*(t),...,z_N^*(t))\in C([0,T],\Delta_N,R^{(P-1)N})$, $\lambda^*=(\lambda_1^*,\lambda_2^*,...,\lambda_N^*,\lambda_{N+1}^*)\in R^{(P-1)(N+1)}$, $\lambda_r^*=u_r^*(t_{r-1})$, $z_r^*(t)=u_r^*(t)+u_r^*(t_{r-1})$, $t\in[t_{r-1},t_r)$, $r=\overline{1,N}$, $\lambda_{N+1}^*=\mu^*\in R^{P-1}$, (14)--(18) есебінің шешімі болады. Және керісінше, егер $(\tilde{z}[t],\tilde{\lambda})$ жұбы, мұндағы $\tilde{z}[t]=(\tilde{z}_1(t),\tilde{z}_2(t),...,\tilde{z}_N(t))\in C([0,T],\Delta_N,R^{(P-1)N})$, $\tilde{\lambda}=(\tilde{\lambda}_1,\tilde{\lambda}_2,...,\tilde{\lambda}_N,\tilde{\lambda}_{N+1})\in R^{(P-1)(N+1)}$, (14)-(18) есебінің шешімі болса, онда $\tilde{u}(t)=\tilde{z}_r(t)+\tilde{\lambda}_r$, $t\in[t_{r-1},t_r)$, $r=\overline{1,N}$, $\tilde{u}(T)=\lim\limits_{t\to T-0}\tilde{z}_N(t)+\tilde{\lambda}_N$ және $\tilde{\mu}=\tilde{\lambda}_{N+1}$ теңдіктерімен анықталатын $(\tilde{u}(t),\tilde{\mu})$ жұбы (11)-(13) бастапқы есебінің шешімі болады.

$\frac{dx}{dt}=A(t)x$, $t\in[t_{r-1},t_r)$, $r=\overline{1,N}$ дифференциалдық теңдеуінің $X_r(t)$ фундаменталды матрицасын қолдана отырып, (14), (15) параметрлері бар интегралдық-дифференциалдық теңдеуі үшін арнайы Коши есебінің шешімін парапар интегралдық теңдеулер жүйесіне келтіреміз

$$z_r(t)=X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)A(\tau)d\tau\lambda_r+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)\sum_{j=1}^{N}\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)[u_j(s)+\lambda_j]dsd\tau+$$

$$+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)B(\tau)d\tau\lambda_{N+1}+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)f(\tau)d\tau,\ t\in[t_{r-1},t_r),\ r=\overline{1,N},\quad(19)$$

$\xi=\sum_{j=1}^{N}\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)u_j(s)ds$ делік және (19) интегралдық теңдеулер жүйесін келесі түрде жазамыз

$$z_r(t)=X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)d\tau\xi+$$

$$+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)\left[A(\tau)\lambda_r+\sum_{j=1}^{N}\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)\lambda_j ds+B(\tau)\lambda_{N+1}+f(\tau)\right]d\tau,\ t\in[t_{r-1},t_r),\ r=\overline{1,N}.\quad(20)$$

(20) теңдеуінің екі жағын $K(t)$- ға көбейтіп, $[t_{r-1}, t_r]$ аралығында интегралдап және r бойынша қосып шықсақ, онда $\xi \in R^{P-1}$ параметріне қатысты сызықты алгебралық теңдеулер жүйесін аламыз

$$\xi = G(\Delta_N)\xi + \sum_{r=1}^{N+1} V_r(\Delta_N)\lambda_r + g(f, \Delta_N), \tag{21}$$

$(P-1)\times(P-1)$ -өлшемді матрицалар

$$G(\Delta_N) = \sum_{r=1}^{N} \int_{t_{r-1}}^{t_r} K(\tau) X_r(\tau) \int_{t_{r-1}}^{\tau} X_r^{-1}(s) ds d\tau,$$

$$V_r(\Delta_N) = \int_{t_{r-1}}^{t_r} K(\tau) X_r(\tau) \int_{t_{r-1}}^{\tau} X_r^{-1}(s) A(s) ds d\tau + \sum_{j=1}^{N} \int_{t_{j-1}}^{t_j} K(\tau) X_r(\tau) \int_{t_{j-1}}^{\tau} X_r^{-1}(\tau_1) d\tau_1 d\tau \int_{t_{r-1}}^{t_r} K(s) ds,$$

$$r = \overline{1, N},$$

$$V_{N+1}(\Delta_N) = \sum_{r=1}^{N} \int_{t_{r-1}}^{t_r} K(\tau) X_r(\tau) \int_{t_{r-1}}^{\tau} X_r^{-1}(s) B(s) ds d\tau$$

және $(P-1)$ -өлшемді векторлар $g(f, \Delta_N) = \sum_{r=1}^{N} \int_{t_{r-1}}^{t_r} K(\tau) X_r(\tau) \int_{t_{r-1}}^{\tau} X_r^{-1}(s) f(s) ds d\tau$.

(21) жүйесін келесі түрде жазамыз

$$[I - G(\Delta_N)]\xi = \sum_{r=1}^{N+1} V_r(\Delta_N)\lambda_r + g(f, \Delta_N), \tag{22}$$

мұндағы $I -$ матрицасы $P-1$ - өлшемді бірлік матрица.

(14), (15) арнайы Коши есебі (19) интегралдық теңдеулер жүйесіне пара пар. Бұл жүйе өзегі айныған жағдайда $\xi \in R^{P-1}$ параметріне қатысты (21) алгебралық теңдеулер жүйесіне пара пар болады. Арнайы Коши есебінің бірмәнді шешілімділігінің мәселелері [19, 20] жұмыстарында зерттелген. $[0, T]$ кесіндісін мейлінше аз $h > 0 : Nh = T$ қадамымен бөлгенде арнайы Коши есебі бірмәнді шешілімді болатындығы анықталды.

$I - G(\Delta_N)$ матрицасы қайтарымды делік, яғни $[I - G(\Delta_N)]^{-1}$. Онда (22) теңдеуіне сәйкес $\xi \in R^{P-1}$ векторы келесі теңдікпен анықталады

$$\xi = \left[I - G(\Delta_N)\right]^{-1} \sum_{r=1}^{N+1} V_r(\Delta_N))\lambda_r + \left[I - G(\Delta_N)\right]^{-1} g(f, \Delta_N). \tag{23}$$

(20) теңдеуінде ξ -дің орнына (23) теңдігінің оң жағын қойсақ, λ_r, $r = \overline{1, N+1}$ парамерлері арқылы $z_r(t)$ функциясының кейіптемесін аламыз

$$z_r(t)=\sum_{j=1}^{N}\left\{X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)d\tau\left[\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}V_j(\Delta_N))+\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)ds\right]\right\}\lambda_j+$$

$$+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)A(\tau)d\tau\lambda_r+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)\left[\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}V_{N+1}(\Delta_N))+B(\tau)\right]d\tau\lambda_{N+1}+$$

$$+X_r(t)\int_{t_{r-1}}^{t}X_r^{-1}(\tau)\left[\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}g(f,\Delta_N)+f(\tau)\right]d\tau,\quad t\in[t_{r-1},t_r),\quad r=\overline{1,N}. \quad (24)$$

Келесі белгілеулер енгізейік

$$D_{r,j}(\Delta_N)=X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)d\tau\left[\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}V_j(\Delta_N)+\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)ds\right],\ r\neq j,$$

$$r,j=\overline{1,N},$$

$$D_{r,r}(\Delta_N)=X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)d\tau\left[\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}V_r(\Delta_N)+\int_{t_{j-1}}^{t_j}K(s)ds\right]+X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)A(\tau)d\tau$$

,

$$D_{r,N+1}(\Delta_N)=X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)d\tau\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}V_{N+1}(\Delta_N)+X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)B(\tau)d\tau,$$

$$F_r(\Delta_N)=X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)d\tau\left[I-G(\Delta_N)\right]^{-1}g(f,\Delta_N)+X_r(t_r)\int_{t_{r-1}}^{t_r}X_r^{-1}(\tau)f(\tau)d\tau,$$

$$r=\overline{1,N}.$$

Осылай (24) теңдігінен шығатыны

$$\lim_{t\to t_r-0}z_r(t)=\sum_{j=1}^{N+1}D_{r,j}(\Delta_N)\lambda_j+F_r(\Delta_N),\qquad r=\overline{1,N}. \quad (25)$$

(25) теңдігінің сәйкес оң жақтарын (16), (17) шеттік шарттарына және (18) жалғастыру шарттарына қойып, λ_r, $r=\overline{1,N+1}$ параметрлеріне қатысты сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\left[B_1+D_{N,1}(\Delta_N)\right]\lambda_1+B_2\sum_{j=2}^{N-1}D_{N,j}(\Delta_N)\lambda_j+B_2\left[I+D_{N,N}(\Delta_N)\right]\lambda_N+\left[B_0+D_{N,N+1}(\Delta_N)\right]\lambda_{N+1}=$$
$$=\Phi_1-B_2F_N(\Delta_N), \quad (26)$$

$$\left[C_1+D_{N,1}(\Delta_N)\right]\lambda_1+C_2\sum_{j=2}^{N-1}D_{N,j}(\Delta_N)\lambda_j+C_2\left[I+D_{N,N}(\Delta_N)\right]\lambda_N+\left[C_0+D_{N,N+1}(\Delta_N)\right]\lambda_{N+1}=$$
$$=\Phi_2-C_2F_N(\Delta_N), \quad (27)$$

$$\left[I+D_{s,s}(\Delta_N)\right]\lambda_s-\left[I-D_{s,s+1}(\Delta_N)\right]\lambda_{s+1}+\sum_{\substack{j=1\\ j\neq s,\,j\neq s+1}}^{N+1}D_{s,j}(\Delta_N)\lambda_j=-F_s(\Delta_N),\quad s=\overline{1,N-1}. \quad (28)$$

(26) - (28) теңдеулер жүйесінің сол жағына сәйкес келетін матрицаны $Q_*(\Delta_N)$ деп белгілейміз және осы жүйені келесі түрде жазамыз

$$Q_*(\Delta_N)\lambda = -F_*(\Delta_N)\ , \qquad \lambda \in R^{(P-1)(N+1)}, \tag{29}$$

где $F_*(\Delta_N) = \left(-\Phi_1 + B_2 F_N(\Delta_N), -\Phi_2 + C_2 F_N(\Delta_N), F_1(\Delta_N),..., F_{N-1}(\Delta_N)\right) \in R^{(P-1)(N+1)}$.

$$\alpha = \max_{t\in[0,T]} \| A(t) \|, \quad \beta = \max_{t\in[0,T]} \| B(t) \|, \quad L_N = \max_{r=1,N}(t_r - t_{r-1}), \quad \chi = \int_0^T \| K(t) \| dt\ .$$

1-Теорема. *Қандай да бір* Δ_N *бөліктеу үшін* $I - G(\Delta_N): \ R^{P-1} \to R^{P-1}$ *және* $Q_*(\Delta_N): \ R^{(P-1)(N+1)} \to R^{(P-1)(N+1)}$ *матрицалары қайтарымды.*

Онда (11)—(13) параметрлері бар шеттік есебінің жалғыз шешімі бар – $\left(u^*(t), \mu^*\right)$ *жұбы* $f(t) \in C([0,T], R^n)$, $\Phi_1, \Phi_2 \in R^{P-1}$ *векторлары үшін және келесі бағалаулар орынды*

$$\max\left(\| u^* \|_1, \| \mu^* \|\right) \le \Upsilon(\Delta_N) \max\left(\| f \|_1, \| \Phi_1 \|, \| \Phi_2 \|\right), \tag{30}$$

мұнда

$$\Upsilon(\Delta_N) = \left\{ e^{\alpha L_N} \left\| [I - G(\Delta_N)]^{-1} \right\| \chi \left(e^{\alpha L_N} - 1 + e^{\alpha L_N} \chi \right) + \chi \right] + e^{\alpha L_N} - 1 +$$

$$+ e^{\alpha L_N} L_N \beta \left[\left\| [I - G(\Delta_N)]^{-1} \right\| \chi e^{\alpha L_N} + 1 \right] \left\| [Q_*(\Delta_N)]^{-1} \right\| \cdot \left[1 + \max\left(\| B_2 \|, \| C_2 \| \right) \right] \times$$

$$\times \max\left\{ 1, e^{\alpha L_N} L_N \left[e^{\alpha L_N} \left\| [I - G(\Delta_N)]^{-1} \right\| \chi \right] \right\} + e^{\alpha L_N} L_N \left\| [I - G(\Delta_N)]^{-1} \right\| \chi e^{\alpha L_N} + 1 \Big].$$

Сонымен, 1 теорема (11)—(13) параметрі бар есептің бірмәнді шешілімділігін $I - G(\Delta_N)$ және $Q_*(\Delta_N)$ матрицалар терминінде, сәйкес (22) және (29) сызықтық алгебралық теңдеулер жүйелері терминінде тұжырымдайды. (30) бағалауы бізге (11) - (13) параметрі бар есептің шешімімен (11) жүйесінің оң жағындағы $f(t)$ функциясының және шеттік шарттарының Φ_1, Φ_2 берілімдерінің үзіліссіз тәуелділігін береді.

Осы теорема негізінде параметрлері бар параболалық тектес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты екі нүктелі шеттік есептің шешілімділігі аппроксимациялаушы (11)—(13) есебінің шешілімділігі терминінде тұжырымдалады.

Әдебиеттер тізімі

1. Sloan I. and Thomée V. Time discretization of an integro-differential equation of parabolic type // SIAM Journal on Numerical Analysis, 23(1986), 1052–1061.

2. Cannon J. and Lin Y. Non-classical H1 projection and Galerkin methods for non-linear parabolic integro-differential equations // Calcolo, 25(1988), 187–201.

3. Thomée V. and Zhang N.-Y. Error estimates for semidiscrete finite element methods for parabolic integro-differential equations // Mathematics of Computation, 53(1989), 121–139.

4. Lin Y., Thomée V., and Wahlbin L. Ritz-Volterra projections to finite element spaces and applications to integro-differential and related equations // SIAM Journal on Numerical Analysis, 28(1991), 1047–1070.

5. Pani A. and Peterson E. Finite element methods with numerical quadrature for parabolic integrodifferential equations // SIAM Journal on Numerical Analysis, 33(1996), 1084–1105.

6. Lin Y. Semi-discrete finite element approximations for linear parabolic integrodifferential equations with integrable kernels // Journal of Integral Equations and Applications, 10(1998), 51–83.

7. Pani A. and Sinha R. Finite element approximation with quadrature to a time dependent parabolic integro-differential equation with nonsmooth initial data // Journal of Integral Equations and Applications, 13(2001), 35–72.

8. Pani A. and Fairweather G. H1-Galerkin mixed finite element methods for parabolic partial integro-differential equations // IMA Journal of Numerical Analysis, 22(2002), 231–252.

9. McLean W., Sloan I. and Thomée V. Time discretization via Laplace transformation of an integro-differential equation of parabolic type // IMA Journal of Numerical Analysis, 24(2004), 439–463.

10. Matache A.-M., Schwab C. and Wihler T. Fast numerical solution of parabolic integrodiffe-rential equations with applications in finance // SIAM Journal on Scientific Computing, 27(2005), 369–393.

11. Sinha R., Ewing R. and Lazarov R. Some new error estimates of a semidiscrete finite volume element method for a parabolic integro-differential equation with nonsmooth initial data // SIAM Journal on Numerical Analysis, 43(2006), 2320–2344.

12. Zhang N. On fully discrete Galerkin approximations for partial integrodifferential equations of parabolic type // Mathematics of Computation, 60(1993), 133–166.

13. Dolejší V. and Vlasák M. Analysis of a BDF-DGFE scheme for nonlinear convection-diffu-sion problems // Numerische Mathematik, 110(2008), 405–447.

14. Volpert V. Elliptic partial differential equations Vol. 2: Reaction-Diffusing Equations, Birkhauser Springer, Basel etc., 2014.

15. Douglas J. and Jones B. Numerical methods for integro-differential equations of parabolic and hyperbolic types // Numerische Mathematik, 4(1962), 96–102.

16. Yanik E. and Fairweather G. Finite element methods for parabolic and hyperbolic partial integro-differential equations // Nonlinear Analysis, 12(1988), 785–809.

17. Pani A., Thomée V., and Wahlbin L. Numerical methods for hyperbolic and parabolic integro-differential equations // Journal of Integral Equations and Applications, 4(1992), 533–584.

18. Dzhumabayev, D.S. Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation // U.S.S.R. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1989. – Vol. 29, No. 1. – P. 34-46.

19. Dzhumabaev, D.S. A method for solving the linear boundary value problem for an integro-differential equation // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2010. – Vol. 50, No. 7. – P. 1150-1161.

20. Dzhumabaev, D.S. An algorithm for solving a linear two-point boundary value problem for an integrodifferential equation // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2013. – Vol. 53, No. 6. – P. 736-758.

21. Dzhumabaev, D.S., Bakirova, E.A. Criteria for the unique solvability of a linear two-point boundary value problem for systems of integro-differential equations // Differential Equations. 2013. – Vol. 49, No. 9. – P. 1087-1102.

22. Dzhumabaev, D.S. Necessary and sufficient conditions for the solvability of linear boundary-value problems for the Fredholm integrodifferential equations // Ukranian Mathematical Journal. 2015. – Vol. 66, No. 8. – P. 1200-1219.

23. Dzhumabaev, D.S. Solvability of a linear boundary value problem for a Fredholm integro-differential equation with impulsive inputs // Differential Equations. 2015. – Vol. 51, No. 9. – P. 1180-1196.

24. Dzhumabaev, D.S. On one approach to solve the linear boundary value problems for Fredholm integro-differential equations // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2016. – Vol. 294, - P. 342-357.

ЖЕРАСТЫ УРАН ҰҢҒЫМАЛАРЫН ШАЙМАЛАУ ПРОЦЕСІНІҢ ЖОҒАРЫ ТИІМДІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН 3D-МОДЕЛЬДЕУ

Садыков М.П.

e-mail: sadykov.mahambetp@gmail.com

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, ақпараттық технологиялар факультеті, Нұр-Сұлтан (Астана), Қазақстан

Аннотация. *Бұл жұмыс уранның жерасты ұңғымасын сілтілеу процесінде жоғары тиімді экстракция жүйелерінің үш-өлшемді модельдеуін бағалайды және дамытады. Концентрацияның жаңа тиімді түріне көшудің іргелі мүмкіндігін зерделеу бойынша бірқатар іс-шаралар жүргізілуде, мұнда уран алудың жаңа түрінің негізгі процесі құбырлы полимер матрицасына құйылған экстракцияның жұқа қабығында жүреді. Сондай-ақ, бұл технология шаймалау қондырғыларының құрылысын ықшам етеді және жерасты сілтілендіру жүйесінде уран бар ерітінділерді өңдеудің құнын төмендетеді деген қорытындыға келді.*

Жерасты ұңғымасын шаймалау - минералды иондарды тікелей ішектегі өнімді ерітіндіге іріктеп беру арқылы кенді жер бетіне шығармай кен орындарын игеру әдісі. Бұл әдіс рудалық денелер арқылы ұңғыларды бұрғылау, ерітінді беру және минералды құрамы бар ерітінділерді жер бетіне шығару, олардан минералды сорбциялық ион алмастырғыш өсімдіктерде алу, аналық ликерлерге қышқыл қосып,

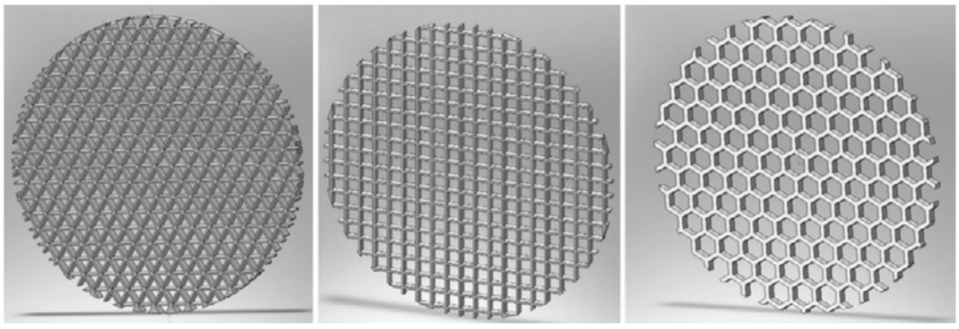
оларды ішекке қайта енгізу арқылы жүзеге асырылады [1]. Сонымен қатар, құрамында уран бар кендер дәстүрлі өндіру тәсілдерінен (шахталар мен карьерлерден) айырмашылығы, жер асты күйінде қалып отыр, сондықтан жерасты ұңғымасын шаймалау әдісі жоғары экологиялық қауіпсіздігімен, төмен шығындарымен және технологиялық операцияларды жеңілдетумен сипатталады.

Уран шикізатын байытудың қазіргі схемасы, оның ішінде жерасты шаймалаудың өнімді ерітінділерін сорбциялық өңдеудің бірнеше кемшіліктері бар екендігі белгілі. Олардың негізгісі көптеген қондырғылар мен агрегаттар, сонымен бірге сорбциялық бағандар ішіндегі жоғары гидравликалық төзімділік, бұл өнімділіктің төмен болуына әкеледі. Ағынның төмен жылдамдығы және механикалық кернеуге байланысты ион алмасуының жоғалуы.

Экстракция, бөлу және концентрациялау әдістерінің келесі артықшылықтары бар [1]:

- Процестердің үздіксіздігімен аппараттарды жобалаудың қарапайымдылығы;
- Экстрактивтердің жоғары іріктелуіне немесе көп сатылы бөлінуге байланысты дайын өнімнің жоғары тазалығы;
- Құнды компоненттердің жоғары экстракциясына байланысты сапасыз бастапқы материалдарды сәтті өңдеу мүмкіндігі (99% дейін);
- Қалыпты жағдайдағы процестер барысы.

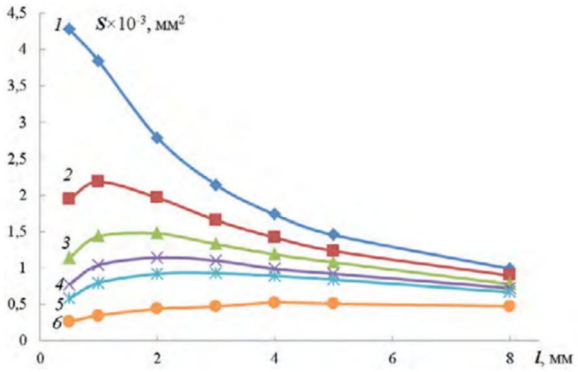
Ұсынылған тасымалдаушы модельдер белгілі бір конфигурацияның параллельді арналарының цилиндрлік полимерлі матрицасы болып табылады [2]. Олардың қабырғалары экстракцияның жұқа қабатымен біркелкі жабылады.



Сур. 1 Үш өлшемді модельдер: а - үшбұрыштар; б - квадраттар; в - ұялар

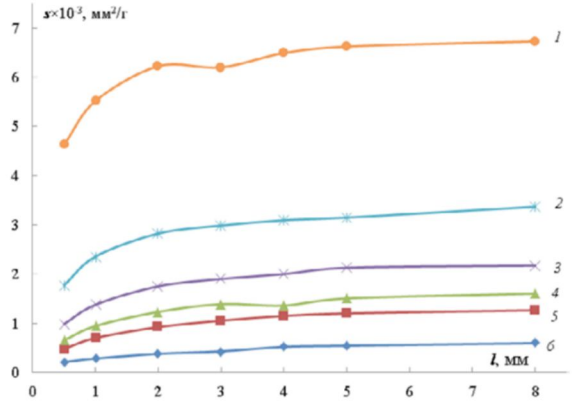
Сур. 1-де көлденең қимадағы әртүрлі конфигурацияға арналған құбырлы тасымалдаушылардың «картридждерінің» үш өлшемді визуализациясының мысалдары келтірілген.

Есептеулер үшін кеңістікті үнемі толтыруға мүмкіндік беретін арна конфигурациясы бар модельдерді қарастырылды: тең жақты үшбұрыштар, квадраттар және тең жақты алтыбұрыштар (ұялар).



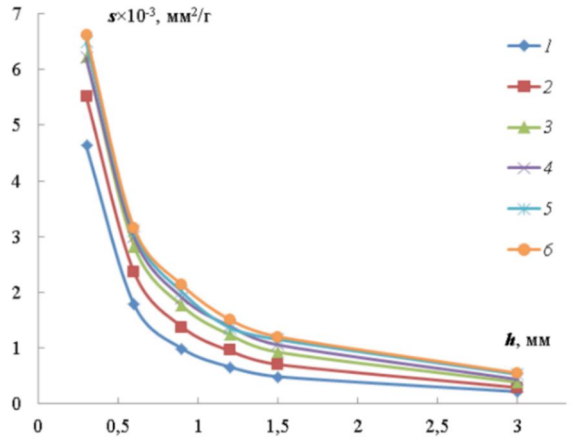
Сур. 2 Картридждің абсолютті бетінің үшбұрыштар моделіне арналған канал өлшеміне тәуелділігі
1) h = 0,3 мм; 2) h = 0,6 мм; 3) h = 0,9 мм; 4) h = 1,2 мм; 5) h = 1,5 мм;
6) h = 3 мм; L = 1 мм; D = 40 мм.

Сур. 2-де құбырлы кассетаның S абсолютті (геометриялық) бетінің ауданы каналдың қалыңдығының h түрлі мәндері үшін «үшбұрыштар» моделіне арналған 1-каналдың сызықтық мөлшеріне (бұл жағдайда үшбұрыштың жақтары) тәуелділігі көрсетілген. Тәуелділіктің бірдей табиғаты квадрат және алтыбұрышты каналдар жағдайында байқалады [3].



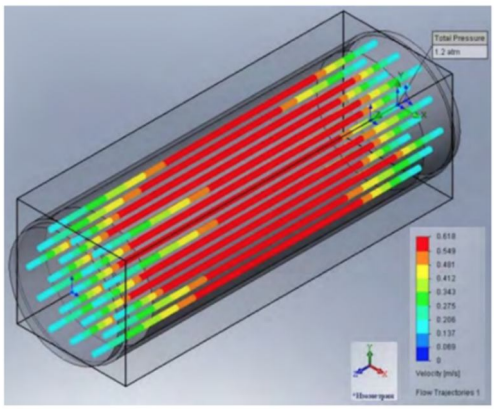
Сур. 3 Үшбұрыштар-моделі үшін картридждің нақты бетінің арнаның көлеміне тәуелділігі
1) h = 0,3 мм; 2) h = 0,6 мм; 3) h = 0,9 мм; 4) h = 1,2 мм; 5) h = 1,5 мм;
6) h = 3 мм; L = 1 мм; D = 40 мм.

Сур. 3-те дәл осы модельдер үшін нақты бетінің канал өлшеміне тәуелділігі көрсетілген. Беткейдің нақты ауданы l арнасының көлеміне байланысты емес және сфералық түйірлердің сорбциялық моделі үшін барлық қарастырылған конфигурациялар үшін кішкене канал қабырғаларының қалыңдығына (h <0,6 мм) қарағанда асып түседі. Сфералық дәндері бар модель үшін берілген дәннің диаметрі d = 1 мм. Сфералық дәндерге арналған стационарлық ион алмастырғыштың кеуектілігі 0,26-0,48 аралығында болады.



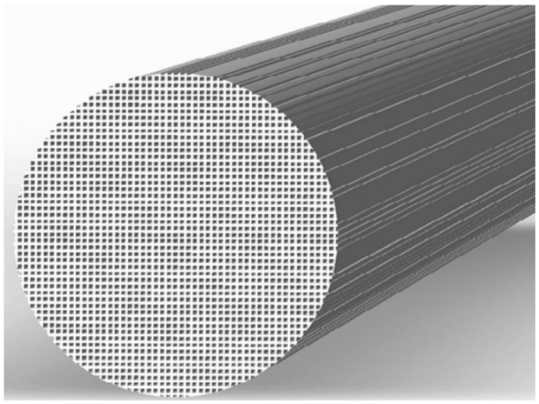
Сур. 4 Үшбұрыштар-үлгісі үшін картридждің нақты бетінің
канал қабырғасының қалыңдығына тәуелділігі
1) l = 0,5 мм; 2) l = 1 мм; 3) l = 2 мм; 4) l = 3 мм; 5) l = 4 мм;
6) L = 1 мм кезінде l = 5 мм; D = 40 мм.

Сур. 4-те арна бетінің арна қабырғасының қалыңдығына байланысты арнаның қимасының бүйіріндегі әр түрлі мәндеріне тәуелділігі көрсетілген. Арна қабырғасының қалыңдығының жоғарылауымен экстрактордың беткі қабаты едәуір төмендейтіні анық, сағтың кіші мәндерінде ғана жұмыс істеу керек.



Сур. 5 Сызықтық жылдамдықты үлестірудің үшөлшемді визуализациясы
«дәстүрлі» сорбция жүйесінің моделіндегі судың ағуы L = 100 мм, D = 40 мм

Сур. 5-те келесі шекаралық шарттарда диаметрі 1 мм диаметрі бар сфералық дәндердің «дәстүрлі» сорбциялық жүйесінің моделінде су ағынының сызықтық жылдамдығының таралуын үш өлшемді визуализацияның мысалы келтірілген: шығу кезінде құбырға қысым 1,2 атм, шығу кезінде сұйық қоршаған ортаға 1 атм-нан еркін енеді. Кассета ұзындығы 100 мм, диаметрі 40 мм.



Сур. 6 Ағынды модельдеуге арналған квадрат каналы бар полимерлі матрицаның үшөлшемді моделінің фрагменті L = 1000 мм, D = 40 мм, h = 0,3 мм, l = 0,5 мм.

Сур. 6-да сұйықтықтың ағынын модельдеу үшін салынған төртбұрышты арналары бар үш өлшемді модельдің фрагменті көрсетілген. Құбырлы модельдерде арнаның көлденең қимасының көрсетілген өлшемі l = 0,5 мм, барлық үш конфигурация үшін канал қабырғасының қалыңдығы h = 0,3 мм. Гидродинамикалық сипаттамалар жылу эффектілерін ескермей келесі сыртқы параметрлерді ескере отырып есептелді: барлық конфигурациялардағы және кеуекті орта үшін кассеталар үшін ұзындықтың мәні 1030 мм, кассетаның ұзындығы L = 1000 мм. Құбыр диаметрі D = 40 мм. Жұмыс сұйықтығы - бұл су. Құбырға кіріс 2 атм. Шығару кезінде сұйықтық сыртқы ортаға атмосфералық қысыммен құйылады (1 атм).

Әдебиет

1. Гиндин, Л. М. Экстракция процестері және оларды қолдану / Л. М. Гиндин. – Мәскеу: Наука баспасы, 1984. – 5 б.

2. Тураев, Н. С., Жерин, И. И. Уранның химиясы мен технологиясы: ЖОО-ға арналған оқулық / Н. С. Тураев, И. И. Жерин. – Мәскеу: ЦНИИАТОМИНФОРМ баспасы, 2005. – 34 б.

3. Дюбанов, А. В., Ошовский, В. В. ДонНТУ ғылыми еңбектері / А. В. Дюбанов, В. В. Ошовский // Серия: Химия және химиялық технология. – Покровск: ДонНТУ баспасы, 2013. – 2 том, № 21. – Б. 169-179.

ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

[1]Айтчанов Б.Х., [2]Тергеусизова А.С.

e-mail: [1]bekait@rambler.ru, [2]aliya55@mail.ru

Университет имени Сулеймана Демиреля, Казахстан

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы управления процессом вытяжки оптических волокон из кварцевой заготовки с применением сигма частотно-импульсной системы управления температурой печи и использованием математической модели системы управления.*

Процесс вытяжки оптического волокна как объект управления

Анализ реальных технологических процессов вытяжки оптического волокна показывает (Лаборатория InPhoTech – innovation photonics technology, действующяя в рамках проекта «Усовершенствованная структура фотонных оптических волокон для инновационных телекоммуникационных сетей», Университет им. Марии Кюри – Склодовской, г. Люблин, Польша), что изменение диаметра волокна обусловлено несколькими составляющими. Детерминированное изменение диаметра происходит вследствие контролируемого изменения геометрии заготовки, скорости ее подачи и скорости вытяжки волокна и может быть рассчитано на основании закона сохранения массы. Соответственно, параметрами процесса являются геометрическая форма заготовки, скорость ее подачи в печь, температура в высокотемпературной печи, скорость вытяжки и диаметр кварца готового волокна. Последний параметр является целевым, поскольку удержание диаметра в требуемом диапазоне является необходимым условием получения качественного волокна [1] – [8].

Башня вытяжки оптического волокна и ее функциональная схема показаны на рисунке 1. Автокорреляционная составляющая изменения диаметра волокна отражает инерционность процесса, влияние его предыдущих значений. Стохастическая составляющая изменения диаметра кварца обусловлена наличием случайных, неконтролируемых причин: неоднородность свойств заготовки, колебания температуры печи, неконтролируемые колебания скорости подачи заготовки и скорости вытяжки.

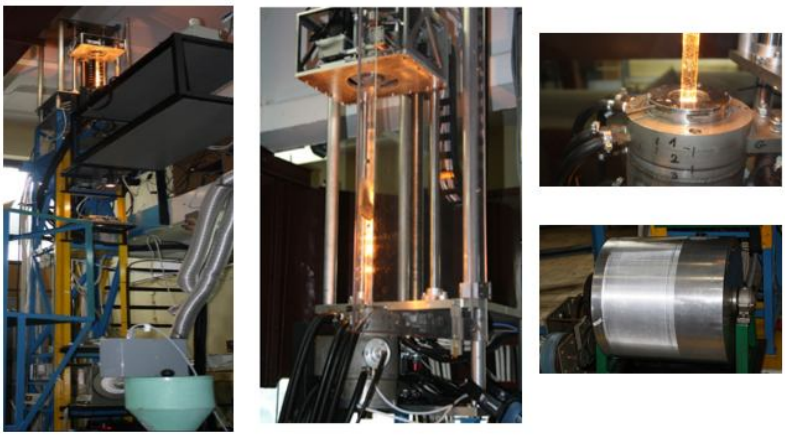


Рис. 1 Башня вытяжки и ее основные элементы

Объектом исследования является изменение температуры в печи плавления кварцевого стекла, из которого на выходе из высокотемпературной печи,

вытягивают сердцевину оптического волокна, являющаяся основой автоматизированной системы управления. На рисунке 2 показана функциональная схема башни вытяжки оптического волокна.

На основе импульсных характеристик униполярного коронного разряда разработаны устройство для бесконтактного и непрерывного измерения диаметра движущихся диэлектрических нитей, в том числе оптических волокон (10 – 125 микрон) в процессе их изготовления, а также устройство для бесконтактного и непрерывного измерения скорости протяжки тонких и сверхтонких диэлектрических нитей, и оптических волокон [9] – [10].

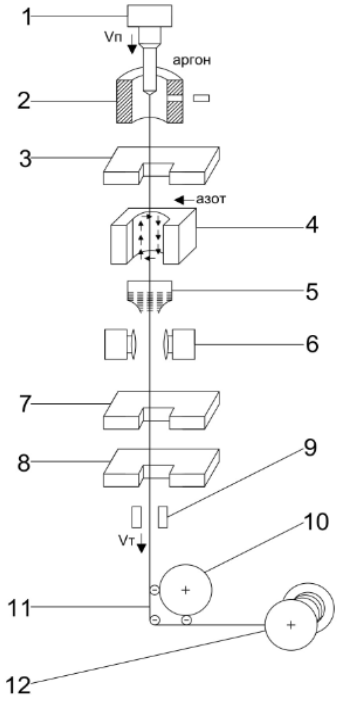


Рис. 2 Функциональная схема башни вытяжки оптического волокна
1 - механизм подачи заготовки, 2 - высокотемпературная печь с оптическим пирометром измеряющим $T_{ВТП}$, 3 - бесконтактный лазерный измеритель диаметра волокна, 4 - камера охлаждения, 5 - узел наложения защитного лакового покрытия, 6 - ультрафиолетовая печь полимеризации лакового покрытия, 7 - лазерный измеритель диаметра волокна по лаковому покрытию, 8 - измеритель эксцентричности (толщины) лакового покрытия, 9 - устройство измерения натяжения волокна (бесконтактное устройство измерения скорости протяжки), 10 - тяговое устройство, 11 - датчики длины вытянутого оптического волокна, 12 - приемная катушка.

Структурная схема управления системой вытяжки волокна, содержащая контур автоматического управления диаметром волокна показан на рисунке 3.

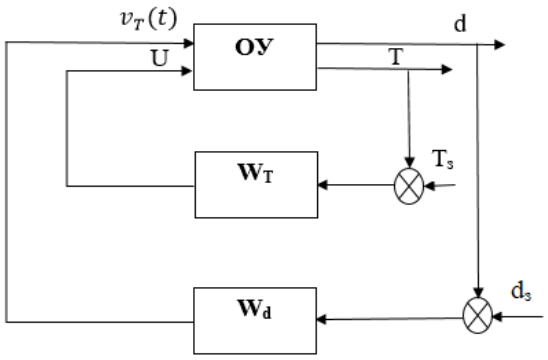


Рис. 3 Структурная схема управления системой вытяжки волокна

ОУ – объект управления (зона перетяжки волокна); d – диаметр волокна, $d_з$ – заданный диаметр оптического волокна, T – температура высокотемпературной печи; $T_з$ – заданная температура высокотемпературной печи; U – напряжение подаваемое на индукционно – электрическую печь; $v_T(t)$ – скорость вытяжки, W_T – регулятор температуры; W_d – регулятор скорости вытяжки оптического волокна.

На рисунке 4 показана структура системы управления вытяжкой оптического волокна [11].

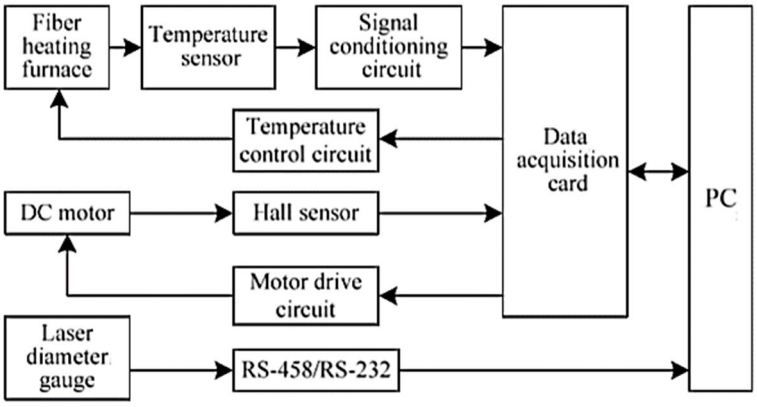


Рис.4 Структура системы управления вытяжкой оптического волокна

Аппаратное обеспечение системы в основном включает в себя датчик температуры, управление двигателем, схему формирования сигнала, карту сбора данных, лазерный датчик диаметра, схему управления температурой и двигателем.

С использованием специализированного пакета MATLAB System Identification Toolbox, который содержит инструменты для создания математических моделей динамических систем на основе наблюдаемых входных/выходных данных получена непрерывная передаточная функция зоны перетяжки. Фрагмент изменения температуры во временном ряде показан на рисунке 5.

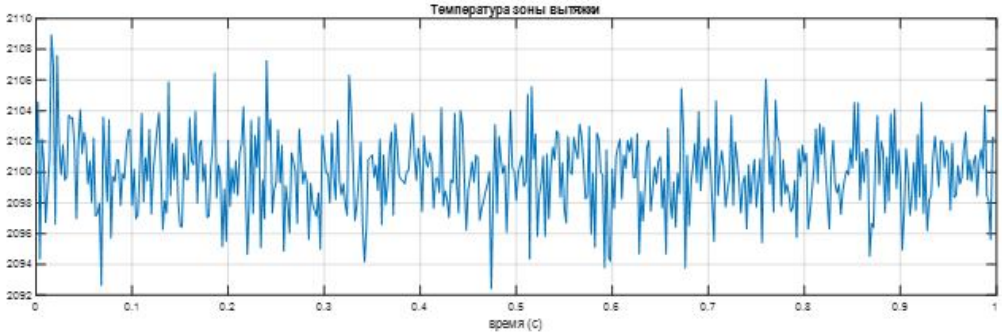


Рис. 5 Изменение температуры во временном диапазоне

Зависимость диаметра волокна от температуры в высокотемпературной печи в виде непрерывной передаточной функции:

$$W_L(p) = \frac{T_L(p)}{T_{\text{ВТП}}(p)} = \frac{e^{-p\tau_L}}{(1+T_1 p)(1+T_2 p)} \quad (1)$$

Где, T_1 – постоянная времени, определяемая гидродинамическими свойствами зоны перетяжки; T_2 - постоянная времени, определяющая время нагрева зоны перетяжки; τ_L - время запаздывания, определяемое длиной зоны перетяжки, T_L - температура зоны перетяжки. Данная передаточная функция является частью математической модели, которая позволит синтезировать оптимальное управление процессом вытяжки.

$$W_L(p) = \frac{T_L(p)}{T_{\text{ВТП}}(p)} = \frac{e^{-p\tau_L}}{(1+T_1 p)(1+T_2 p)} = \frac{e^{-p\tau_L}}{T_1 T_2 p^2 + (T_1+T_2)p + 1} =$$

$$= \frac{e^{-p\tau_L}}{T_1 T_2 (p^2 + \frac{T_1+T_2}{T_1 T_2} p + \frac{1}{T_1 T_2})}$$

$$K_1 = \frac{1}{T_1 T_2}, L_1 = \frac{1}{T_1 T_2}, L_2 = \frac{T_1+T_2}{T_1 T_2}$$

Путем преобразований (1) представляется передаточной функцией вида:

$$W_L(p) = \frac{K_1 e^{-p\tau_L}}{p^2 + L_2 p + L_1}$$

$$W_L(p) = \frac{x_2}{u} = \frac{K_1 e^{-p\tau_L}}{p^2 + L_2 p + L_1} \quad (2)$$

Данный объект обладает транспортным запаздыванием, которое обусловлено временем прохождения вытягиваемого стеклоизделия от зоны формирования до датчика, определяющего размеры поперечного сечения. Стохастическая составляющая изменения диаметра кварца обусловлена наличием случайных, неконтролируемых причин: неоднородность свойств заготовки, колебания температуры печи, неконтролируемые колебания скорости подачи заготовки и скорости вытяжки. Для решения задачи регулирования температуры, наиболее перспективным является применение сигма частотно-импульсной системы автоматического управления объектами с запаздыванием. Системы управления данного класса характеризуются наличием нелинейных преобразований сигналов, а также параметрическими обратными связями. Рассмотрим подсистему непосредственного цифрового управления основными параметрами температурного режима процесса вытяжки оптического волокна [1]-[8].

О сигма частотно-импульсной системе управления

Частотно-импульсная система стабилизации (ЧИСС) температуры высокотемпературной печи вытяжки оптического волокна - замкнутая система, состоящая из ∑-ЧИМ и приведенной непрерывной части (ПНЧ), структурная схема приведена на рисунке 6 [12].

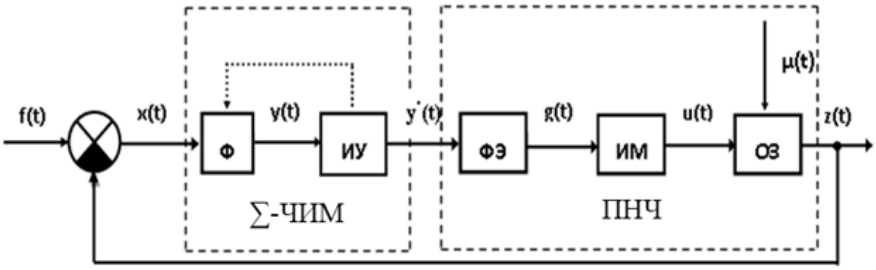


Рис. 6 Структурная схема ЧИСС

Входом системы f(t) является стационарный случайный процесс. Приведенная непрерывная часть ПНЧ имеет последовательно соединенные управляемый объект с запаздыванием, исполнительный механизм (ИМ) и формирующий элемент (ФЭ), задающий требуемую форму управляющих импульсов.

Непрерывная часть НЧ состоит из последовательного соединения управляемого объекта с запаздыванием, измерительного и исполнительного устройств. Объект с запаздыванием подвержен воздействию внешнего белого шума μ(t). В общем случае НЧ характеризуется как нелинейная динамическая система со случайными параметрами и представляется некоторым функциональным уравнением следующего вида [12, с.22-25]:

$$z(t) = H[\lambda, \tau_0, z(\tau), g(\tau)/t_0 \le \tau \le t] \qquad (3)$$

где, H - непрерывный нелинейный функционал; параметр λ характеризует случайность параметров функционала H; g(t) - последовательность управляющих

случайных импульсов заданной формы; τ_0 - время запаздывания управляемого объекта управления.

Уравнение движения Σ - частотно-импульсного модулятора состоит из уравнения движения фильтра Φ и уравнений, определяющих моменты появления и знак импульсов, и операции сброса. Фильтр Φ характеризуется как нелинейная динамическая система с постоянными параметрами и его можно представить следующим функциональным уравнением:

$$y(t) = \Phi[y(\tau), x(\tau)/t_0 \le \tau \le t] \quad (4)$$

где Ф – непрерывный нелинейный функционал с постоянными параметрами.

Когда выходной сигнал фильтра Ф $y(t)$ достигает порогового значения $\pm\Delta$ импульсного устройства ИУ, генерируется единичный δ – импульс и осуществляется обнуление всех начальных условий.

Допустим, что в некоторый момент времени $t = t_n$ импульсное устройство ИУ осуществило описанные выше операции. Считаем, что операция сброса осуществляется идеально, т.е.:

$$\vec{y}(t_n) = 0 \quad (5)$$

Так как, наш объект управления, зона перетяжки оптического волокна, обладает запаздыванием, необходимо получить уравнение модулятора, включенного в контур управления объектами с запаздыванием. Как известно [13] – [14], в объектах с запаздыванием влияние управляющего импульса проявляется на выходе с временной задержкой, не меньшей времени его запаздывания. Исходя из этого, при управлении такими объектами в течении времени, равного τ_0 запаздывания объекта, формировать следующий управляющий импульс нецелесообразно.

Допустим, что в некоторый момент $t = t_n$ на выходе ИУ появился n – й импульс. Тогда момент $t = t_{n+1}$ появление $(n+1)$ – го импульса с учетом свойств объекта с запаздыванием будет определяться следующим образом:

$$y(t_{n+1} - 0) = W\left[\frac{x(\tau)}{t_n} + \tau \le \tau \le t_{n+1} - 0\right] = \lambda_{n+1}\Delta \quad (6)$$

где

$$\lambda_{т+1} = sign\, W\left[\frac{x(\tau)}{t_n} + \tau \le \tau \le t_{n+1} - 0\right] \quad (7)$$

Параметр τ_m – параметр частотно – импульсного модулятора, учитывающий эффект запаздывания управляемого объекта.

Если рассмотреть уравнение системы в целом, рисунок 6, на вход системы действует стационарный случайный процесс $f(t)$. При составлении уравнения системы (рисунок 6) используются уравнения ее элементов (1), (2), (3), (4), (5) и уравнения замыкания. После очевидных преобразований уравнения системы $K = \{0{,}0{,}0{,}1{,}0i, 00, \mu\}$ приведем к виду:

$$x(t) = f(t) - H[\lambda, \tau_0, z(\tau), \int_0^t g_\phi(t-\theta)\dot{y}(\theta)d\theta / t_0 \le \tau \le t)] \quad (8)$$

$$\dot{y}(t) = \sum_n \lambda_{n+1}\delta(t - t_{n+1}) \quad (9)$$

$$\lambda_{n+1} = sign\, y(t_{n+1} - 0) \quad (10)$$

$$y(t_n + 0) = 0 \quad (13)$$

$$y(t) = \Phi[y(\tau), \frac{x(\tau)}{t_n}], \tau_m \le \tau \le t_{n+1} - 0 \quad (14)$$

Σ - частотно-импульсный модулятор является основным блоком соответствующей системы автоматического управления. В данной системе он одновременно выполняет функции управляющего устройства, где формируется закон управления. Для этого в Σ-ЧИМ имеются широкие возможности, так как в его состав входит фильтр Ф, выбором структуры и параметров которого можно влиять на динамические свойства автоматических систем управления. Если фильтр Ф выполнен в виде апериодического звена 1-го порядка, соответствующая модуляция называется Σ-частотно-импульсной модуляцией.

Фильтр, реализованный в виде апериодического звена первого порядка описывается следующей передаточной функцией:

$$D(p) = \frac{k_\phi}{p + \alpha_\phi} \quad (15)$$

где k_ϕ -коэффициент усиления апериодического звена 1-порядка, а α_ϕ- время инерционности.

Формозадающий фильтр ФЗФ, входящий в состав приведенной непрерывной части, преобразует последовательность δ-импульсов Дирака $\mathrm{y}^\bullet(\mathrm{t})$ в последовательность импульсов $g(t)$, заданной формы $g_\phi(t)$. Фильтр ФЗФ является линейным и его можно представить уравнением:

$$\mathrm{g(t)} = \int_0^{\mathrm{t}} \mathrm{g_\phi(t-\tau)y(\tau)d\tau, t > \tau} \quad (16)$$

В частном случае, когда импульсы $g(t)$ имеют прямоугольную форму с амплитудой А и длительностью γ, передаточная функция формозадающего фильтра ФЗФ имеет вид:

$$W_{\phi з}(p) = \frac{A(1 - e^{\gamma p})}{p} \quad (17)$$

Таким образом, в фильтре осуществляется некоторое динамическое преобразование непрерывного процесса $x(t)$ в сигнал $y(t)$. Импульсное устройство ИУ генерирует единичный δ - импульс в тот момент времени, когда выходной сигнал фильтра Ф достигает порогового значения и осуществляет обнуление всех «накопителей энергии» которые входят в состав фильтра (осуществляется операция сброса).

Процедура построения нелинейной системы, эквивалентной динамической ЧИМ, не содержащий параметрических обратных связей, подробно описана в работе [15] - [18]. В общем случае, структурную схему системы, эквивалентной по отношению к исходной системе (рисунок 6), можно представить в виде рисунка 7.

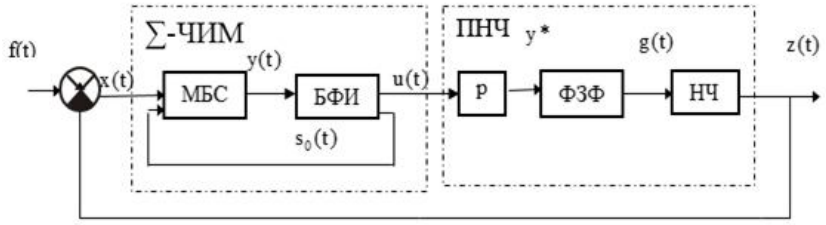


Рис. 7 Эквивалентная стохастическая система

Как видно из рисунка 7, в эквивалентной системе модулятор заменен тремя блоками: блоком сброса - БС, блоком формирования импульсов - БФИ и дифференцирующим звеном с передаточной функцией $W(p) = p$.

Процессы, протекающие в блоке сброса БС тождественны с процессом, протекающим в фильтре Ф модулятора. Здесь осуществляется преобразование процесса ошибки $x(t)$ в непрерывный процесс $y(t)$ на отрезке $t_n + 0 \le t \le t_{n+1} - 0$. Выход $y(t)$ претерпевает разрывы первого рода в моменты $t = t_n + 0$, т.е. выполняется:

$$\bar{y}(t_{n+1} - 0) = y(t_n + 0) + k_u \left[\int_{t_n+0}^{t_n+\tau_m} x(\tau)d\tau + \int_{t_n+\tau_m}^{t_{n+1}-0} x(\tau)d\tau \right] \quad (18)$$

Выполнение условия (14) осуществляется за счет принудительного удержания выхода $y(t)$ в нулевом состоянии в течение времени запаздывания объекта после выдачи управляющего импульса. В отличие от блока сброса обычного ДЧИМ [19], в структуре блока сброса системы с запаздыванием присутствует дополнительный блок формирования сигнала μ(t).

Назначение этого дополнительного блока заключается в формировании сигнала, принудительно удерживающего выход фильтра Φ модулятора $y(t)$в нулевом положении после выдачи импульса управления в течение времени запаздывания объекта.

В блоке формирования импульсов БФИ осуществляется операция сравнения процесса $y(t)$ с порогом $\pm\Delta$ и, при выполнении условия (14), формируется два импульса: первый, $\dot{y}(t) = \sum_n \lambda_{n+1}\delta(t - t_{n+1})$ (2.3) - служит выходом ДЧИМ; второй -$s_0(t) = \delta(t - t_{n+1})$ служит сигналом сброса и поступает обратно в БС.

Структурная схема блока формирования импульсов БФИ приведена на рисунке 8. Она является инвариантной к конкретному виду модулятора. В то же время, структурная схема блока сброса БС зависит от свойств фильтра Ф в модуляторе.

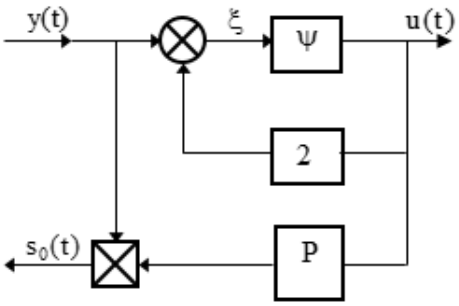


Рис. 8 Структурная схема блока формирования импульсов

Блок сброса для фильтра типа апериодического звена. Так как в нашем случае, в качестве управляющего устройства для управления объектом с запаздыванием, а именно процессом вытяжки оптического волокна, используется именно Σ-ЧИМ, в этом случае фильтр *Ф* модулятора характеризуется передаточной функцией вида [12, с.36-38]:

$$W(p) = \frac{c_v}{p + p_v} \tag{19}$$

В соответствии с уравнениями:

$$y(t_{n+1} - 0) = \int_{t_n+\tau_0}^{t_{n+1}-0} w(t_{n+1} - \tau)x(\tau)d\tau = \lambda_{n+1}\Delta \tag{20}$$

$$W(t) = k_u = const \tag{21}$$

(20) и (21) для модифицированного Σ - ЧИМ моменты появления t_{n+1} определяются из уравнения:

$$y_v(t_{n+1} - 0) = c_v \int_{t_n+\tau_0}^{t_{n+1}-0} \exp\big(-p_v(t_{n+1} - \tau)\big)\, x(\tau)d\tau = \lambda_{n+1}\Delta, \tag{22}$$

где

$$\lambda_{n+1} = c_v \int_{t_n+\tau_0}^{t_{n+1}-0} \exp\big(-p_v(t_{n+1} - \tau)\big)\, x(\tau)d\tau \tag{23}$$

Рассмотрим произвольный момент времениt_n. Пусть выходной сигнал в этот момент времени равен $y_v(t_n + 0)$.

Тогда для моментов времени $t \le t_n$:

$$\overline{y_v}(t) = e^{-p_v(t-t_n)} y_v(t_n + 0) + c_v \int_{t_n}^{t} e^{-p_v(t-\tau)} x(\tau) d\tau \quad (24)$$

где $y_v(t)$- выход фильтра при начальном условии$y_v(t_n + 0)$.

Уравнение (24) перепишем в следующем виде:

$$\overline{y_v}(t) = e^{-p_v(t-t_n)} y_v(t_n + 0) + c_v \left[\int_{t_n+0}^{t_n+\tau_m} e^{-p_v(t-\tau)} x(\tau) d\tau + \int_{t+\tau_m}^{t_{n+1}-0} e^{-p_v(t-\tau)} x(\tau) d\tau \right] \quad (25)$$

Из сопоставления (22) и (25) следует, что $\overline{y_v}(t) = y_v(t)$,если

$$\overline{y_v}(t) = e^{-p_v(t-t_n)} y_v(t_n + 0) + c_v \int_{t_n+0}^{t_n+\tau_m} e^{-p_v(t-\tau)} [x(\tau) - \mu(\tau)] d\tau + c_v \int_{t+\tau_m}^{t} e^{-p_v(t-\tau)} x(\tau) d\tau - c_v \int e^{-p_v(t-\tau)} \eta(\tau) d\tau \quad (26)$$

Для формирования сигнала μ(e) представим его в виде произведения двух сигналов:

$$\mu(t) = x(t)\chi(t) \quad (27)$$

$$\chi(t) = \int_{t_n}^{t} q_{\tau_m}(t-\tau) s(\tau) d\tau \quad (28)$$

где

$$q_{\tau_m}(t) = L^{-1}\left[\frac{1 - \exp(-\tau_m p)}{p}\right]$$

Импульсная переходная функция формирующего звена первого порядка.

А сигнал η(t) формируется по выражению:

$$\eta(t) = s(t)\frac{y_v(t)}{c_v} \quad (29)$$

Структурная схема блока сброса Σ-ЧИМ, применяемого для управления объектами с запаздыванием, приведена на рисунке 9.

Под мажорирующей системой понимается система, в которой процессы на выходе блока сброса БС $y_m(t)$и выходе приведенной непрерывной части ПНЧ $z_m(t)$ мажорируют соответствующие процессы эквивалентной системы (рисунок 9) в смысле некоторых статистических характеристик. Например:

$$\max_{t_0,y_0} M\left|y(t,\ t_0, y_0)\ \right|^p \le \max_{t_0,y_0} M\ \left|y_m(t,\ t_0, y_0)\ \right|^p \tag{30}$$

$$\max_{t_0,y_0} M\left|z(t,\ t_0, z_0)\ \right|^p \le \max_{t_0,y_0} M\ \left|z_m(t,\ t_0, z_0)\ \right|^p \tag{31}$$

В полученной системе отсутствуют нелинейные обратные связи операции сброса. Они заменяются внешними случайными возмущениями, найденными из условия мажорирования.

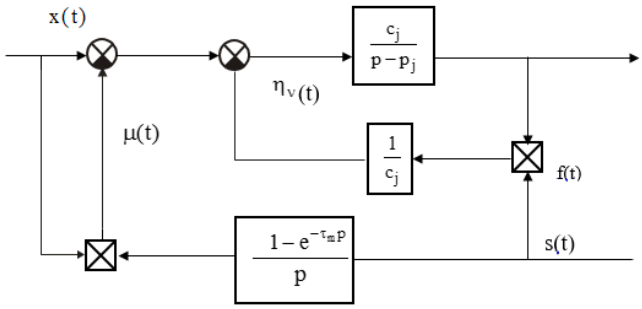


Рис. 9 Блок сброса Σ-ЧИМ системы с запаздыванием

Для построения мажорирующей системы рассмотрим сигнал $s_0\{t\}$ обратной связи операции сброса эквивалентной системы (рисунок 4). Он представляет собой последовательность независимых импульсов со случайными временными положениями:

$$s_0(t) = \sum_1^N \delta(t - t_n),\ \ 0 \le t \le T \tag{32}$$

Независимость $\delta(t - t_i)$ и $\delta(t - t_j), i \ne j$ вытекает из наличия операции сброса. Обозначим среднюю продолжительность между импульсами всигнале $s_0(t)$ через τ_0. Далее вместо сигнала $s_0(t)$рассмотрим сигнал $\underset{\circ}{s}(t)$, состоящий из непересекающихся импульсов одинаковой формы с длительностьюθи амплитудой $\frac{1}{\theta}$ (при $\theta \to 0$ получим δ - импульсы). Средняя продолжительность$\underset{\circ}{\tau}$ между импульсами в сигнале $\underset{\circ}{s}(t)$ удовлетворяет неравенству:

$$\underset{\circ}{\tau} < \tau_0 \tag{33}$$

т.е. шум $\underset{\circ}{s}(t)$ является более густым, чем сигнал $s_0(t)$. Шум $\underset{\circ}{s}(t)$ характеризуется малым, но конечным временем корреляции τ_k, а спектр его достаточно широкий. Такой шум возможен, когда выполняется неравенство:

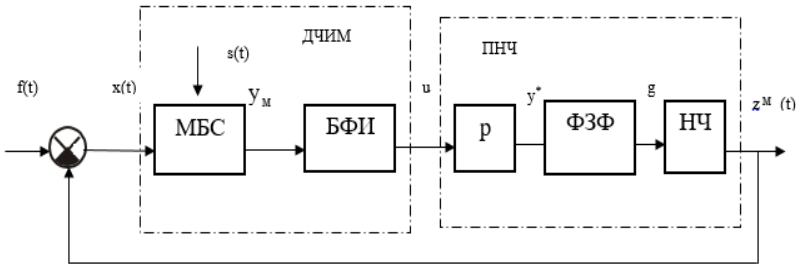
$$\tau_k << \tau_c$$

где τ_c - наименьшая постоянная времени элементарных фильтров в блоке сброса БС, т.е.:

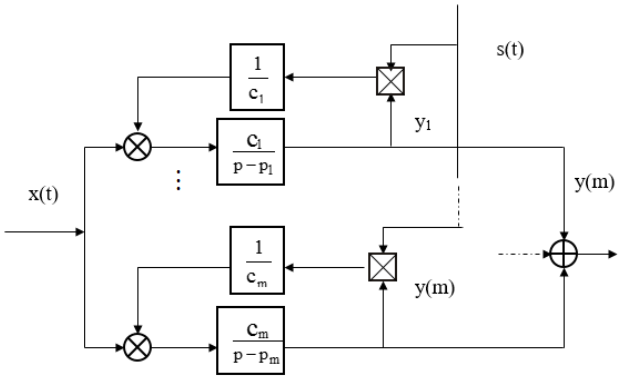
$$\tau_{\text{с}} = min\left\{\tau_i = \frac{\frac{1}{p_i}}{i} = 1, m\right\} \tag{34}$$

можно заменить эквивалентным белым шумом $s_0(t)$с интенсивностью δ_0^2.

На рисунке 10а приведена структурная схема мажорирующей стохастической частотно-импульсной системы, на рисунке 10б - структурная схема блока сброса с линейным фильтром.



а) структурная схема мажорирующей стохастической частотно-импульсной системы



б) структурная схема блока сброса с линейным фильтром

Рис. 10 Мажорирующая стохастическая система

В дальнейшем задача построения мажорирующей системы сводится к оценке интенсивности δ_0^2 из условия мажорирования. Она зависит от значений параметров фильтра в ДЧИМ и модулируемого сигнала $x(t)$.

Корреляционную функцию шума вида $\underset{\circ}{s}(t)$ можно представить в виде:

$$R_{\circ}(\tau)=\frac{1}{\tau_{\circ}^2}k(\tau) \tag{35}$$

где $k(\tau)$- нормированная узкая функция. Тогда, интенсивность заменяющего белого шума $s(t)$ определяется соотношением:

$$\delta_0^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\tau_\circ^2} k(\tau) d\tau = 2\frac{\tau_k}{\tau_\circ^2} \tag{36}$$

Можно заметить, что между временем корреляции $\tau_\circ$ шума $s_\circ(t)$ и возможно минимальным периодом T_0 появления импульсов в ДЧИМ имеет место неравенство:

$$0 < \tau_k \le T_0 = min\left\{\frac{T_n}{n} = 1,2,3,\dots,N\right\} \tag{37}$$

В противном случае импульсы в последовательности $s_\circ(t)$ будут независимыми (т.е. выполняется условие сброса). Тогда, имеет место:

$$\delta_0^2 \le 2\frac{1}{\tau_\circ^2} T_0 \tag{38}$$

Среднюю продолжительность $\tau_\circ$ между импульсами в последовательности $s_\circ(t)$ можно оценить. Такая оценка вытекает из неравенства (30). Отсюда видно, что в последовательности $s_\circ(t)$ имеются импульсы с меньшими интервалами появления, чем T_0 , и большими. Тогда, для простоты можно считать среднюю продолжительность между импульсами равной:

$$\tau_\circ \cong T_0 \tag{39}$$

С учётом (38) неравенство (39) примет вид:

$$\delta_0^2 \le \frac{2}{T_0} \tag{40}$$

Таким образом, установили, что интенсивность δ_0^2 мажорирующего белого шума s(t) удовлетворяет неравенству (40). Чем реже появляются импульсы, тем интенсивность заменяющего шума меньше, и наоборот. При этом не нарушается условие мажорирования, т.е. возможные отклонения процессов $y_m(t)$ и $z_m(t)$мажорирующей системы будут не меньшими, чем процессов y(t) и z(t) эквивалентной системы.

Построение структурной и математической модели

С целью проектирования стохастических частотно-импульсных систем автоматического управления объектами с запаздыванием следует, в первую очередь, получить их модели в виде стохастических дифференциальных уравнений. Для этой цели могут быть использованы эквивалентные и мажорирующие системы. Описывая их непосредственно, можно получить стохастические дифференциальные уравнения в форме Ланжевена. Затем их следует преобразовать к форме Ито.

Рассмотрим построение математических моделей подсистемы непосредственного цифрового управления (НЦУ) управляющими параметрами температурным процессом вытяжки оптического волокна. Данная система описывается следующими уравнениями [12, с.43 – 46]:

$$x(t) = x_2(t) - z(t) \tag{41}$$

$$x_2^{(2)} + L_2 x_2^{(1)} + L_1 x_2 = uK_1 e^{-p\tau_L} \tag{42}$$

$$\dot{z}(t) = \vec{q}_0^T \vec{z}(t - \tau_L) \tag{43}$$

$$y_v(t) + \left[\alpha_\phi + s(t)\right] y_v(t) = k_\phi x(t - \tau_m) \tag{44}$$

$$u(t) = \varphi[\tfrac{y_v(t)}{\Delta}] \text{ БФИ} \tag{45}$$

где k_ϕ - коэффициент усиления фильтра $\sum$- ЧИМ, Δ - пороговое значение импульсного устройства ИУ; τ_m - параметр модификации модулятора.

Объединяя уравнение ПНЧ (1) и модифицированного $\sum$-ЧИМ (41) - (45), получим стохастическую дифференциальную систему в форме Ланжевена [46]-[48]:

$$\vec{z}(t) = \overrightarrow{A_0}\,\vec{z}(t) + \overrightarrow{C_0} u(t) + \vec{D}_0[\vec{z}]\vec{\mu}(t) \tag{46}$$

$$z(t) = \vec{L}_1^T \vec{z}(t), u(t) = \varphi\left[\frac{y_v(t)}{\Delta}\right] \tag{47}$$

$$y_v(t) = \alpha_\phi y_v(t) - k_\phi \vec{q}_0^T \tau_0 \vec{z}(t) + N_0[y_v(t)] s(t) \tag{48}$$

где

$$\vec{z}(t) = [z_1 z_2]^T, \quad \vec{\mu}(t) = [\mu_1 \mu_2]^T$$

$$\overrightarrow{D_0}\overrightarrow{[z]} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -z_1 & -z_2 \end{bmatrix}$$

$$N_0[y_v(t)] = -y_v$$

$$\vec{q}_0^T \tau_0 = \vec{q}_0^T \{\exp(-\overrightarrow{A_0}\vec{\tau}_0) - [\exp(-\overrightarrow{A_0}\vec{\tau}_m) - \vec{I}]\}$$

$\vec{I}$ – единичная матрица размерности (2 × 2).

Заключение

Предложен подход к построению математических стохастических сигма частотно – импульсных систем автоматического управления объектами с запаздыванием. Для математической модели сигма частотно – импульсной системы управления объектами с запаздыванием в виде стохастических дифференциальных уравнений предложена процедура их построения, основанная на эквивалентной и

мажорирующей системах. Получены стохастические дифференциальные уравнения в форме Ланжевена.

Литература

1. Жиро А. Технологии производства оптических волокон. Обзор последних разработок // Наука и техника. 2009. №4. – С.22 – 27.
2. Sandoz F. et al. A Novel process to manufacture high efficiency laser fibers. Photonics 2008, Dehli.
3. Roy P. et al. Active Optical Fibers: New design and alternative method of fabrication. Photonics 2008, Dehli.
4. Sarkar B. Orchanian A. C han. «A Novel VAD process», IWCS 2008.
5. Friman R. Volokonno-opticheskie sistemy svjazi. M.: Tehnosfera, 2003.
6. http://oplib.ru – Open Library – Open library of educational information
7. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrkov D.V. Opticheskie volokna dlja linij svjazi. Vjelkom, 2002.
8. Б.Х.Айтчанов, А.С.Тергеусизова. Технологический процесс вытяжки оптических стержней как объект автоматизированного управления // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан – 2017. - №2.2017. – С. 91-95
9. Патент на полезную модель № 2018/0174.2. «Устройство для измерения скорости протяжки диэлектрических нитей» /Бахтаев Ш.А. и др. Опубл. Бюлл. №44, 23.11.2018
10. Патент на полезную модель № 2018/0175.2. «Устройство для измерения диаметра движущихся диэлектрических нитей» /Бахтаев Ш.А. и др. Опубл. Бюлл.№46, 17.12.2018.
11. Lei Chen, Zhong Dong Wang. Temperature Measurement and Control of Fiber Drawing Furnace Based on Virtual Instrument. Advanced Materials Research Online:2012-06-04 ISSN: 1662-8985, Vol. 529, pp 507-511 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.529.507 © 2012 Trans Tech Publications, Switzerland
12. Айтчанов Б.Х. Стохастические частотно – импульсные системы с запаздыванием. – А36 Алматы: КазНТУ, 2007. – 160с.
13. Солодов А.В., Солодова Е.А. Системы с переменным запаздыванием. М., 1980, 384с.
14. Янушевский Р.Т. Управление объектами с запаздыванием. М., 1978, 416с.
15. Айтчанов Б.Х. Модели динамических частотно-импульсных систем автоматического управления объектами с запаздыванием // Модели и методы автоматизации управления производственными системами. − 1996. −№ 2. − С. 65–73.
16. Айтчанов Б.Х. Методы математического описания частотноимпульсных систем управления объектами с запаздыванием // Вестник КазНТУ. −2002. − № 2 (30).− С.72-82.
17. Aitchanov B.H., Tergeussizova A.S., Toigizhinova A.Zh. Application of Dynamic Frequency – Pulse Automatic Control Systems the Optical Fiber Exhaust. 5th International Conference on “Innovative Trends in Multidisciplinary Academic Research ”(ITMAR- October 19-20, 2018) ITMAR© 2018 Istanbul, Turkey

18. Б.Х. Айтчанов, А.С.Тергеусизова. Применение сигма частотно – импульсной системы автоматического управления в процессе вытяжки оптического волокна. Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №4(2) (43)2018 – с.92 - 106

19. Айтчанов Б.Х., Ескендирова Д.М. Синтез структуры динамического частотно – импульсного модулятора управляющих систем. Вестник Актюбинского государственного университета, №2, 2010 – с.14 – 17.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ахмеджанов А.Х., Караданов Т.К.
e-mail: model_lab@mail.ru
АО "Национальный центр космических исследований и технологий", Республика Казахстан

Аннотация

По данным Казгидромета наиболее повышенные значения наземной концентрации диоксида азота наблюдаются в городах Нур-Султан, Алматы, Тараз. Эти города попали в зоны повышенного содержания диоксида азота в атмосферном столбе по территории Казахстана за 2018 год, что показывает удовлетворительное согласие данных наземных измерений и данных дистанционного зондирования. Содержание в атмосферном столбе диоксида азота за 2016, 2017 и 2018 годы по спутниковым данным в теплое время года максимальное, в холодное время минимальное. В то же время в холодный период амплитуды изменений имеют максимумы, а в теплый период интервал изменений минимальный. Анализ спутниковых данных сенсора OMI за период 2004.10.01 по 2019.04.19 тренд увеличения значения содержания диоксида азота в атмосферном столбе в среднем составило 8,57 %.

Введение

Развитие промышленного производства и транспортных систем на территории Казахстана сопровождается ростом загрязнения атмосферы в результате эмиссии различных газовых примесей, в том числе окислов азота. Состояние загрязненности атмосферы диоксидом азота (NO_2) зависит от большого количества источников эмиссии этого газа в атмосферу, которые могут быть природного и антропогенного происхождения. Основным источником NO_2 служит сжигание органического топлива. В природе он образуется в заметных количествах при лесных, торфяных и угольных пожарах. В современных условиях автомобильный транспорт обеспечивает до 80% поступления газа в атмосферу. В современных городах

концентрации диоксидом азота могут многократно превышать предельно допустимые концентрации. Оксиды азота являются одним из основных загрязнителей атмосферы и увеличивают кислотность осадков. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечного излучения дана в работе [1]. Результаты анализа спутниковых наблюдений тропосферного содержания NO_2 над Московским регионом представлены в [2]. Около 40% загрязнений оксидами азота производится из точечных источников на электростанциях [3]. Диоксид азота отличается относительно продолжительным периодом существования в атмосфере. Выбросы NO_2 считаются одной из основных причин образования фотохимического смога. Соединяясь с парами воды в атмосфере, они образуют азотную кислоту, и, вместе с оксидами серы, являются причиной образования кислотных дождей. В южных районах, где интенсивность солнечной радиации велика, в отдельные периоды происходит резкое увеличение концентрации диоксида азота или окиси азота в атмосфере. В периоды, когда все окислы азота переходят в NO_2, максимальные концентрации ее наибольшие. По указанной выше причине отмечено увеличение среднего уровня загрязнения воздуха диоксидом азота в зависимости от широты места: с севера на юг - почти на 60%. В районах, где осадки выпадают часто, концентрация NO_2 снижается и отношение NO/NO_2 возрастает.

В крупных промышленных центрах Республики Казахстан проводится **мониторинг состояния атмосферного воздуха на основе** системы постоянных наземных наблюдений за состоянием загрязнения атмосферного воздуха. В системе национальной гидрометеорологической службы наблюдения за состоянием окружающей среды проводится мониторинг состояния окружающей среды в соответствии с Экологическим Кодексом Республики Казахстан, включающий в себя наблюдения за загрязнением наземного атмосферного воздуха во всех крупных населенных пунктах. Выпущены информационные бюллетени о состоянии окружающей среды за 2016, 2017, 2018 годы с данными измерений загрязняющих веществ в атмосфере во всех городах Республики Казахстан [4]. На сегодня актуальным является изучение состояния загрязняющих веществ от природных источников и возникающих чрезвычайных ситуаций в виде степных и лесных пожаров вне городов и промышленных объектов.

В последние годы при решении задач количественной и качественной оценки распространения газов, загрязняющих атмосферу, применяются данные спутникового зондирования. Результаты исследования возможности использования спутниковой информации для восстановления концентраций различных газов в атмосфере, с целью их мониторинга представлены в [5]. Приведены примеры картирования тропосферного NO_2 на территории Российской Федерации [6]. Пространственное распределение концентрации газа в воздушном бассейне региона носит широтный характер с уменьшением значений в юго-восточном и северном направлениях [7].

Целью данной работы является определение особенностей распределения диоксида азота на территории Казахстана на основе данных наземных измерений и данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Данные наземных наблюдений

По данным Казгидромета о состоянии окружающей среды за 2016 по 2018 годы в 38 городах Республики Казахстан было определено, что высокие концентрации диоксида азота наблюдаются в пяти городах: Нур-Султан, Алматы, Тараз, Кзыл-Орда, Караганда. По данным измерений концентрации NO_2 за 2016 по 2018 годы в этих городах был построен график распределения (рисунок 1). Диапазон изменений средней концентрации диоксида азота в рассматриваемых городах составляет 0,044 мг/м^3 - 0,074 мг/м^3. Во второй половине 2018 года наблюдается понижение концентрации этого газа в Нур-Султане и Алматы, а в Таразе повышение. В Кзыл-Орде уровень содержания NO_2 в среднем остается примерно на одном уровне. Из рассматриваемых городов наименьшее значения концентрация диоксида азота наблюдаются в Караганде.

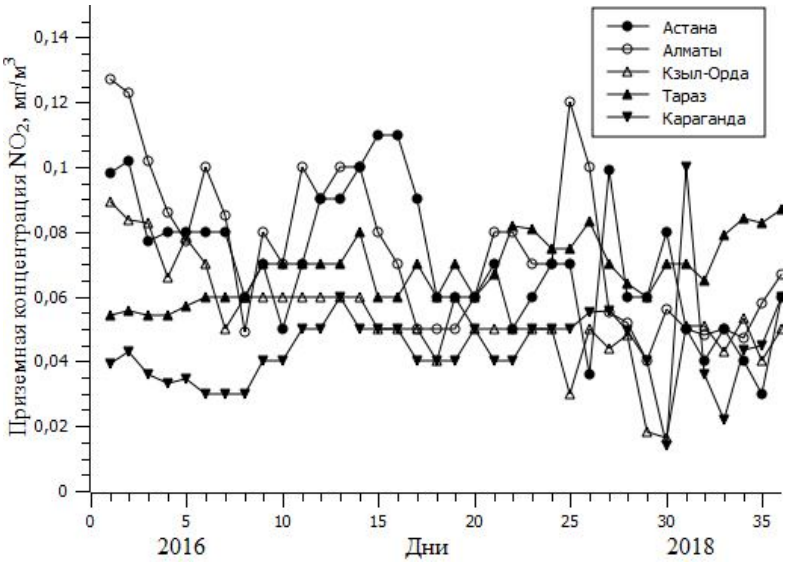


Рис. 1 Изменения концентрации диоксида азота в наиболее крупных городах Казахстана

На основе этих данных был выполнен статистический анализ наземного содержания NO_2 в воздушном бассейне (таблица 1) для этих трех городов с повышенным содержанием диоксида азота. Среднее значение содержания диоксида азота в городах Нур-Султан, Алматы и Тараз примерно одинаковы (около 0,07 мг/м^3), а в городах Кзыл-Орда выше 0,05 мг/м^3 и Караганда - 0,44 мг/м^3. Структурные средние величины распределения концентрации NO_2 – средние, медианы и моды (наиболее вероятные значения) примерно одинаковы для городов Нур-Султан, Алматы и Тараз, а в городах Кзыл-Орда и Караганда несколько ниже, но близки между собой. Стандартные ошибки распределения концентрации диоксида азота оказались самые высокие в городах Нур-Султан и Алматы, а в Таразе самые низкие. Значения медиан в трех городах Нур-Султан, Алматы, Тараз совпадают (около 0,07 мг/м^3), а в городах Кзыл-Орда и Караганда порядка 0,07 мг/м^3. Показатели экцесса свидетельствуют, что плосковершинные распределения

концентрации диоксида азота наблюдаются в городах Нур-Султан, Алматы и Тараз, а в городах Кзыл-Орда и Караганда островершинные. Положительные величины показателя асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии в распределении содержания NO_2 во всех рассматриваемых городах, кроме Кзыл-Орды, где распределение является левосторонней.

Таблица 1 Статистический анализ данных наземных наблюдений (мг/м^3)

Города	Нур-Султан (Астана)	Алматы	Тараз	Кзыл-Орда	Караганда
Среднее	0,070608	0,074778	0,068306	0,053707	0,044061
Стандартная ошибка	0,0035	0,003978	0,001603	0,002574	0,002309
Медиана	0,07	0,07	0,07	0,05	0,0415
Мода	0,06	0,1	0,07	0,05	0,05
Стандартное отклонение	0,021	0,02387	0,009615	0,015443	0,013855
Дисперсия выборки	0,000441	0,00057	9,25E-05	0,000238	0,000192
Эксцесс	-0,6712	-0,63615	-0,9737	1,236724	7,007206
Асимметричность	0,123049	0,540744	0,256769	-0,01583	1,569027
Интервал	0,08	0,087	0,033	0,07306	0,086
Минимум	0,03	0,04	0,054	0,01614	0,014
Максимум	0,11	0,127	0,087	0,0892	0,1
Сумма	2,5419	2,692	2,459	1,93344	1,5862
Счет	36	36	36	36	36
Наибольший(1)	0,11	0,127	0,087	0,0892	0,1
Наименьший(1)	0,03	0,04	0,054	0,01614	0,014
Уровень надежности(95,0%)	0,007105	0,008076	0,003253	0,005225	0,004688

Данные дистанционного зондирования

Для оценки пространственно-временной изменчивости содержания NO_2 в атмосферном столбе были использованы многолетние данные измерений сенсора OMI, размещённого на спутнике Aura. Сглаженное распределение диоксида азота в атмосферном столбе по территории Казахстана за 2018 год представлено на рисунке 2. В целом по территории наблюдается широтное распределение содержания NO_2 в атмосферном столбе. Максимумы содержания NO_2 в атмосферном столбе наблюдается на севере и юго-востоке территории Казахстана. Выходным параметром данных дистанционного зондирования атмосферных газов является их содержание в атмосферном столбе, тогда как наземные измерения малых газов представляют данные об их концентрации. Поэтому сравнение данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений может быть качественным.

Выбранные по наземным измерениям города Нур-Султан, Алматы и Тараз попадают в зоны повышенного содержания диоксида азота в атмосферном столбе, отмеченные на рис.2 звездочками, что свидетельствует об удовлетворительном

качественном соответствии данных дистанционного зондирования и наземных измерений.

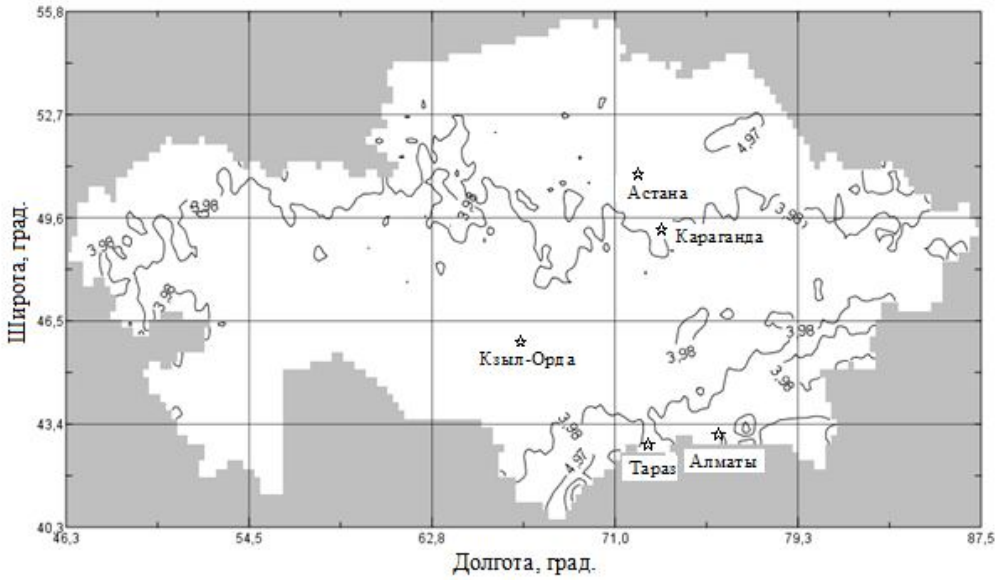


Рис. 2 Сглаженное распределение содержания диоксида азота в атмосферном столбе ($*10^{+15}$ 1/см^2) по территории Казахстана за 2018 год по данным дистанционного зондирования. Звездочками отмечены города Нур-Султан(Астана), Алматы, Тараз, Караганда и Кзыл-Орда

Внутригодовые изменения содержание в столбе диоксида азота за 2016, 2017 и 2018 годы по спутниковым данным сенсора OMI показаны на рисунке 3. Максимумы изменения содержания диоксида азота в атмосферном столбе по территории Казахстана наблюдаются в летние месяцы (июль) и минимумы зимой (январь). В то же время в холодный период амплитуды изменений имеют максимумы, а в теплый период интервал изменений минимальный. Статистический анализ значений содержания NO_2 в атмосферном столбе по территории Казахстана показал, что среднее значение равно 3.67e+15 1/см^2, медиана 3.72e+15 1/см^2, среднеквадратичное отклонение 8.71 e+14 1/см^2. Изменчивость за период 2005-2017 годы содержания в столбе NO_2, усредненного по территории, показана на рисунке 4. За исследуемый период (13 лет) увеличение значения содержания диоксида азота в атмосферном столбе составило 8,57 %.

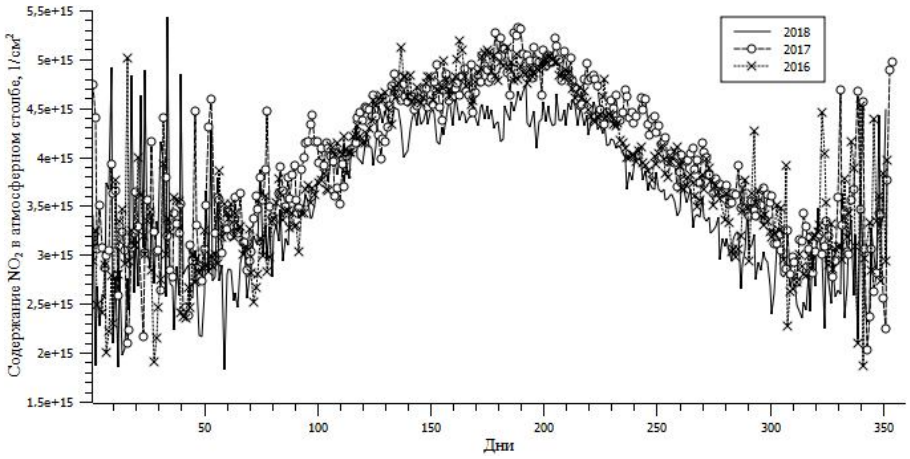


Рис. 3 Внутригодовые изменения содержание в столбе диоксида азота за 2016, 2017 и 2018 годы по спутниковым данным сенсора OMI

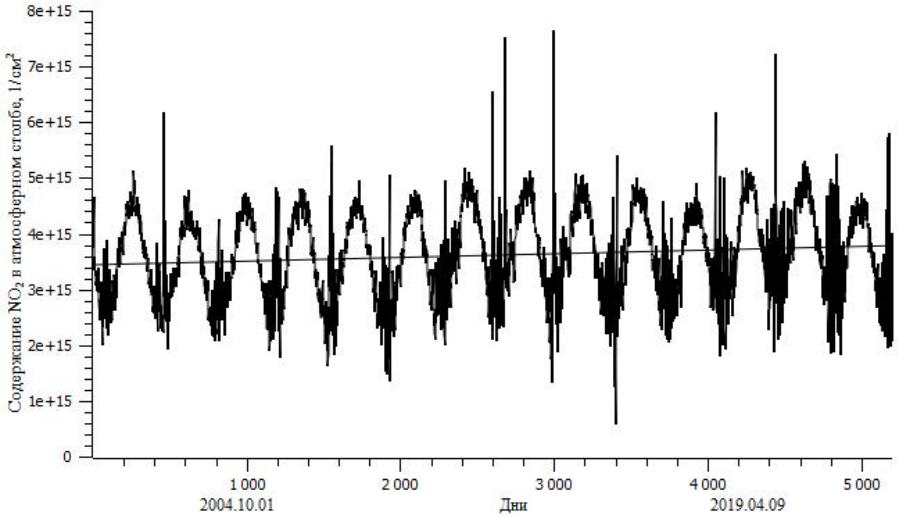


Рис. 4 Изменения содержания диоксида азота в атмосферном столбе по территории Казахстана за период 2004.10.01 по 2019.04.19 по спутниковым данным сенсора OMI

Выводы

По данным Казгидромета наиболее повышенные значения наземной концентрации диоксида азота наблюдаются в городах Нур-Султан, Алматы, Тараз, Кзыл-Орда, Караганда. Эти города попали в зоны повышенного содержания диоксида азота в атмосферном столбе по территории Казахстана за 2018 год, что показывает удовлетворительное согласие данных наземных измерений и данных дистанционного зондирования.

По спутниковым данным в теплое время года содержание в атмосферном столбе диоксида азота за 2016, 2017 и 2018 годы максимальное, в холодное время минимальное. В то же время в холодный период амплитуды изменений имеют максимумы, а в теплый период интервал изменений минимальный. Анализ

спутниковых данных сенсора OMI за период 2004.10.01 по 2019.04.19 тренд в среднем составил 8,57 % увеличения значения содержания диоксида азота в атмосферном столбе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.А., Постыляков О.В. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атмосферы и океана. 2010. - Том 23. - № 06. - С. 471-474.
2. Ситнов С. Анализ спутниковых наблюдений тропосферного содержания $N0_2$ над Московским регионом // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. - Т. 47. - № 2. - С. 184-203.
3. Ahmad Kamruzzaman Majumder, V. Krishna Murthy, 3Sanjay Nath Khanal, Dhiraj Giri. NO_2 concentration in Banepa valley, Nepal // Kathmandu university journal of science, engineering and technology. September 2008. - Vol. I. – №. V.- P. 1-11.
4. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды 2016-2018 г.г. РГП Казгидромет МЭ РК - https://kazhydromet.kz/ru/bulleten/okrsreda (дата обращения 28.01.2019).
5. Тронин А.А., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш. Диоксид азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009.- В.6.- Т.2.- С. 217-223.
6. Ионов Д.В., Тимофеев Ю.М. Региональный космический мониторинг содержания двуокиси азота в тропосфере // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2009. - Т. 45. - Н. 4. - С. 467-476.
7. Русскова Т. В., Зенкова П. Н. Содержание диоксида азота в тропосфере Западной Сибири по данным спутниковых наблюдений. Пространственно-временная изменчивость // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. - Т. 15. - № 7. - С. 221–235

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ САНКЦИЯМ

Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Оналбеков М.А.
e-mail: ashimov37@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В работе рассматриваются задачи выработки рекомендаций в сфере фискальной и торговой политик по противодействию экономическим санкциям на уровне как отдельных стран, подвергающимся таким санкциям, так и на уровне экономического союза, включающего такие страны. В настоящей работе предлагается подход решения этих задач на базе теории параметрического регулирования путем постановки и решения ряда задач динамической оптимизации*

по определению оптимальных значений соответствующих инструментов макроэкономической политики на уровне отдельных стран и экономического союза. Решения указанных задач получены на базе разработанной динамической многострановой вычислимой модели общего равновесия, описывающей функционирование 9 регионов планеты, включая 5 стран Евразийского Экономического Союза (ЕАЭС). Исходные данные модели содержат построенные наборы согласованных матриц социальных счетов (SAM) для исторического и прогнозного периодов на основе данных: базы GTAP, национальных таблиц затраты-выпуск, международной торговли и прогнозов МВФ по основным макроэкономическим показателям. Результаты расчетов на базе модели протестированы на возможность их практического применения рядом методов, включая оценку устойчивости отображений, задаваемых Моделью.

1. Введение

Торговые экономические санкции - преднамеренные, вызванные действиями правительства отдельной страны меры, по прекращению традиционных торговых отношений с другой страной, представляют собой один из наиболее распространённых инструментов современной внешней политики. В качестве общеизвестного примера можно привести, введенные США, Евросоюзом и некоторыми другими странами, торговые санкции против России начиная с 2014 года. Имеется обширная литература, посвященная описанию применяемых экономических санкций по отношению к ряду государств и их влиянию на экономику этих государств [1-4]. Но в этих и других доступных источниках не проводится оценка на базе моделей влияния торговых санкций на третьи страны, имеющие тесные торговые отношения со страной, подвергнувшейся таким санкциям. Также в доступной литературе отсутствует описание подходов к определению оптимальных значений инструментов фискальной и торговой политик, позволяющих противодействовать торговым санкциям, введенным против конкретной страны - члена экономического союза на уровнях, как этой страны, так и всего союза.

В настоящей работе, на базе разработанной динамической глобальной вычислимой модели общего равновесия (далее Модели) смоделированы эффекты от введения дополнительных экономических санкций начиная с 2017 года со стороны ряда регионов планеты (США, ЕС и др.) в отношении одного из государств экономического союза. Рассчитаны влияния указанных санкций: на подвергающееся им государство (Россию), на другие страны экономического союза (ЕАЭС), включающего помимо России еще и Казахстан, Белоруссию, Киргизию и Армению, а также воздействие этих санкций на США, ЕС и Остальной мир. Используя подход теории параметрического регулирования [5], сформулирован и решен на базе Модели ряд задач динамической оптимизации, направленных на противодействие негативным влияниям санкций на экономики государств-членов ЕАЭС, путем нахождения оптимальных значений инструментов фискальной и торговой политик на уровне, как отдельных стран, так и всего ЕАЭС. Модель и полученные на ее базе результаты успешно протестированы на возможность их практического применения тремя подходами, включая подходы теории

параметрического регулирования по уценке устойчивости отображений, задаваемых моделью и показателей устойчивости таких отображений [6].

2. Модель

Динамическая Модель построена на базе разработки ее содержательного описания путем развития и привязки к данным статической вычислимой модели общего равновесия (CGE модели) Globe1 [7].

В разработанном содержательном описании мировая экономика представлена с помощью описания функционирования взаимодействующих агентов выбранных регионов мировой экономики. К ним относятся производители (отрасли); домашние хозяйства; государство и агент-регион Globe, который импортирует транспортные услуги и экспортирует их во все регионы при импорте каждого вида товаров из каждого региона в каждый другой регион.

Разработанное содержательное описание содержит постановки ряда оптимизационных задач агентов с соответствующими условиями первого порядка, другие уравнения описывающие функции агентов, балансовые соотношения для цен и количеств (реальных показателей, измеряемых в ценах продавца), внутренних балансов на счетах государства и внешних балансов на торговых счетах. В содержательном описании используется система составных эндогенных цен, обеспечивающих: выполнение ежегодных балансовых соотношений на рынках факторов (труда и капитала) и каждого вида продукции; двухсторонние текущие платёжные балансы для каждой пары регионов; равновесие сбережений (домохозяйств, государств) и их инвестиций в отрасли регионов. Содержательное описание развито по сравнению с базовым вариантом Globe1, путем описания следующих переменных с помощью динамических уравнений: технологические коэффициенты производственных функций для ВДС всех отраслей регионов, предложения факторов (труда и капитала) домохозяйствами регионов.

Математическая модель, построенная на базе ее содержательного описания, была получена в результате объединения в одну систему уравнений, описывающих: условия первого порядка всех оптимизационных задач агентов и другие правила деятельности (поведение) агентов, включая уравнения описывающие динамику технологических коэффициентов производственных функций и предложений факторов (труда и капитала). Также в математическую модель включены балансовые и вспомогательные уравнения. Все уравнения математической Модели загружены в среду GAMS [8] в составе основного модуля Модели.

Разработанная Модель была настроена на описание экономик следующих 9 Регионов: Казахстана, других членов Евразийского экономического союза (Россия, Беларусь, Армения, Киргизия), а также основных торговых партнеров ЕАЭС: Европейского союза (в виде одной страны); США; Китая и Остального мира (в виде одной страны). Экономика каждого региона Модели описывается 16 отраслями, являющимися наиболее значимыми для экономик стран ЕАЭС. Период расчета Модели (2004 – 2022 гг.) определяется доступными значениями матриц SAM из базы GTAP (2004, 2007, 2011) и горизонтом прогнозов основных макроэкономических показателей, предоставляемых МВФ (2022).

Ядром базы данных Модели являются наборы согласованных матриц социальных счетов (SAM) регионов для каждого рассматриваемого года (2004-2022). Наборы SAM для 2004, 2007 и 2011 годов были извлечены с помощью специального преобразователя из базы данных GTAP [9]. Для 2005, 2006, 2008-2010 и 2012-2015 гг. искомые наборы SAM были рассчитаны с помощью разработанного Алгоритма [6] на базе доступных статистических источников, содержащих таблицы затраты-выпуск [10], показателей взаимной торговли [11], с использованием базовых соотношений, рассчитанных с помощью известных SAM для ближайшего последнего года (2004, 2007 или 2011). Для прогнозного периода (2016-2022 гг.) использовался разработанный алгоритм, позволяющий рассчитать указанные наборы SAM на базе следующих прогнозных показателей регионов предоставляемых МВФ [12]: ВВП, общие инвестиции, объем импорта товаров, объем импорта услуг; объем экспорта товаров, объем экспорта услуг, общие государственные доходы, общие государственные расходы. При этом использовались базовые соотношения, рассчитанные с помощью полученных SAM 2015 года.

Результаты расчета базового сценария откалиброванной Модели в точности воспроизводят статистические и прогнозные данные, используемые при построении указанных выше наборов SAM.

3. Решение задач параметрического регулирования по противодействию политике торговых санкций

На базе Модели была осуществлена расчет сценария по введению новых торговых санкций в отношении России со стороны США, Европейского союза и Остального мира начиная с 2019 года путем увеличения эффективных ставок экспортных пошлин на всю продукцию, поставляемую из указанных регионов в Россию на 25 процентных пунктов по сравнению с соответствующими базовыми прогнозными значениями (далее - Сценарий). Результаты расчета воздействия таких санкций на экономики модельных регионов в виде процентных изменений их ВВП по сравнению с соответствующими базовыми прогнозными значениями, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменения ВВП регионов в результате Сценария в процентах

№	Регион (страна) *r*	Год			
		2019	2020	2021	2022
1	Россия	-2,7082	-3,3605	-3,9285	-4,4425
2	Казахстан	-0,0634	-0,0892	-0,1024	-0,1161
3	Белоруссия	0,2194	0,0017	-0,2129	-0,3963
4	Киргизия	-0,6384	-0,7315	-0,8128	-0,8935
5	Армения	0,0044	-0,0362	-0,1087	-0,1337
6	Китай	0,0028	0,0021	0,0009	-0,0006
7	США	-0,0179	-0,0203	-0,0224	-0,0243
8	Европейский союз	-0,1467	-0,1491	-0,1559	-0,1652
9	Остальной мир	-0,0444	-0,0444	-0,0455	-0,0472

Анализ результатов, представленных в этой таблице, демонстрирует отрицательный или приблизительно нейтральный эффект от введения санкций на экономику всех регионов, при этом наибольшее отрицательное воздействие ожидаемо приходится на экономику России.

Для демонстрации возможности противодействия указанным санкциям мерами бюджетно-налоговой и торговой политики, рассматривался ряд задач динамической оптимизации (задачи параметрического регулирования P_r). Здесь r = 1, …, 5 соответствует такой задаче на уровне одной r-ой страны ЕАЭС; r = 0 соответствует задаче выработки согласованной политики на уровне всех 5 стран ЕАЭС. Приведем неформальную постановку задач этого набора.

Постановка задачи P_r. Найти на базе Модели и Сценария значения регулирующих параметров $u_r(t)$ (эффективные ставки налога на доходы производителей, индивидуального подоходного налога, налога на использование факторов, налога с продаж, налога с домохозяйств, а также импортных и экспортных таможенных пошлин дифференцированных по видам продукции и отраслям; доли государственных расходов, идущих на потребление), которые обеспечивают максимальное значение критерия K_r при ограничениях на регулирующие инструменты вида $u_r(t) \in U_r(t)$. Здесь для t = 2019, …, 2022; $U_r(t)$ – параллелепипед с центром в точке базовых значений $u_r(t)$ и с границами, отстоящими на ±0.05 от соответствующих базовых значений ставок и долей.

Для $r \in \{1, …, 5\}$ регулирующими параметрами $u_r(t)$ являются указанные инструменты государственной политики только r-й страны, а $u_0(t)$ – указанные инструменты всех пяти стран ЕАЭС. При этом эффективные таможенные ставки стран ЕАЭС при торговле внутри союза остаются нулевыми. В задаче P_0 не меняются соотношения между ставками стран ЕАЭС при импорте продукции из регионов вне союза.

Для задач P_r, ($r \in \{1, …, 5\}$) критерий K_r есть суммарный ВВП страны r за период 2019- 2022гг.; критерий K_0 есть суммарный ВВП стран ЕАЭС за указанный период.

Сформулированные задачи P_r были решены численным методом с использованием solver NLPEC [13]. Частичные результаты решений указанных задач в виде приращений суммарного значения ВВП за 2019-2022 гг. (в процентах относительно соответствующих Сценарных величин) приведены в Таблице 2.

Сценарные варианты Модели для полученных оптимальных значений инструментов были протестированы тремя методами [6]: путем оценки устойчивости задаваемого Моделью отображения, оценок показателей устойчивости такого отображения и путем проведения прогнозных сценариев. Во всех случаях результаты расчетов продемонстрировали:

- отсутствие особых точек рассматриваемых отображений в соответствующих областях их определения и устойчивость этих отображений;
- допустимые значения оценок показателей устойчивости отображений;
- соответствие результатов прогнозных сценариев для 2019-2022 гг. основным положениям макроэкономической теории.

Таблица 2. Процентные изменения значений ВВП стран в результате решения задач P_r

Задача	Страна r	Год			
		2019	2020	2021	2022
P_1	1. Россия	0,5801	1,4605	3,0466	2,4846
	2. Казахстан	-0,0174	-0,0140	-0,0113	-0,0221
P_2	1. Россия	0,0014	0,0020	0,0016	0,0012
	2. Казахстан	3,0846	3,0533	2,9261	2,9083
P_0	1. Россия	0,7522	1,6328	3,1698	2,8554
	2. Казахстан	3,6521	3,7598	3,4292	3,2986

Анализ полученных результатов решений оптимизационных задач показывает, что в рамках задач P_r, подход параметрического регулирования на уровне пяти стран ЕАЭС (задача P_0), дает большие эффекты для каждой отдельной страны ЕАЭС по сравнению с параметрическим регулированием на уровне этой страны (задачи P_r, $r \in \{1, \ldots, 5\}$). Анализ таблиц 1 и 2 показывает высокие потенциальные возможности подхода параметрического регулирования на уровне экономического союза для противодействия торговым санкциям как для страны, на которую такие санкции налагаются, так и для других стран, входящих в этот экономический союз.

Литература

1. Haidar, J.I. Sanctions and Exports Deflection: Evidence from Iran // Economic Policy (CEPR). - 2015. - Vol. 32, No. 90. - P. 319-355.

2. Hufbauer, G.C. et al. Economic Sanctions Reconsidered. - Washington: Peterson Institute for International Economics, 2007. - 233 p.

3. Köchler, H. ed. Economic Sanctions and Development. - http://www.i-p-o.org/sanctpap.htm (13.09.2019)

4. Pape, R.A. Why Economic Sanctions Still Do Not Work // International Security. – 1998. - Vol. 23, No. 1 – P. 66–77.

5. Ashimov, A., Sultanov, B., Adilov, Zh., Borovskiy, Yu., Novikov, D., Alshanov, A., Ashimov As. Macroeconomic analysis and parametrical control of a national economy. New York: Springer, 2013. – 288 p.

6. Ашимов, А.А., Боровский, Ю.В., Новиков Д.А., Султанов Б.Т. Макроэкономический анализ и параметрическое регулирование регионального экономического союза. - М.: URSS, 2018. – 512 с.

7. GLOBE CGE Model. - www.cgemod.org.uk/globe1.html (13.09.2019).

8. GAMS. - www.gams.com (13.09.2019).

9. GTAP Data Base. - www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/default.asp (13.09.2019).

10. World Input-Output Database. - http://www.wiod.org/home (13.09.2019).

11. World Integrated Trade Solution. - http://wits.worldbank.org (13.09.2019).

12. World Economic Outlook Databases. - http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28 (13.09.2019).

13. NLPEC. - https://www.gams.com/latest/docs/S_NLPEC.html (13.09.2019).

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

[2]Аязбаева А.М., [1,2]Иманбердиев К.Б., [1,2]Касымбекова А.С., [3]Шарипов К.С.

e-mail: aayazbayeva@gmail.com, kanzharbek75ikb@gmail.com, kasar08@mail.ru, 7847526@mail.ru

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби МОН РК, Казахстан

[2]Институт математики и математического моделирования КН МОН РК, Казахстан

[3]Казахский университет путей и сообщения МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В работе исследуются вопросы разрешимости задач стабилизации с границей для нагруженного уравнения теплопроводности в заданной ограниченной области. Задача состоит в выборе граничных условий так, чтобы решение полученной краевой задачи стремилось к заданному стационарному решению с заданной скоростью. В работе дана постановка краевой задачи, приведены условия существования и единственности сильного решения данной задачи, рассмотрены вопросы гладкости решения и решения задачи стабилизации путем расширения области независимых переменных, пошагово изложен алгоритм решения обратной задачи, проведены численные расчеты, которые показали эффективность предлагаемого алгоритма.*

Введение. Идея свести задачу стабилизации для параболического уравнения с помощью граничных управлений к вспомогательной краевой задаче в расширенной области независимых переменных принадлежит А.В. Фурсикову [1]. Ранее мы изучали задачи стабилизации для нагруженных одно- и двумерных уравнений теплопроводности [2–4]. В данной работе исследуются алгоритм решения стабилизации для нагруженного двумерного оператора Лапласа.

Постановка задачи. Пусть $\Omega = \{x, y : -\pi/2 < x, y < \pi/2\}$ – область с границей $\partial\Omega$. В цилиндре $Q = \Omega \times \{t > 0\}$ с боковой поверхностью $\Sigma = \partial\Omega \times \{t > 0\}$ рассматривается граничная задача для нагруженного уравнения теплопроводности

$$u_t - \Delta u + \alpha \cdot u(0, y, t) + \beta \cdot u(x, 0, t) = 0, \quad \{x, y, t\} \in Q, \tag{1}$$

$$u(x, y, 0) = u_0(x, y), \quad \{x, y\} \in \Omega, \tag{2}$$

$$u(x, y, t) = p(x, y, t), \quad \{x, y, t\} \in \Sigma, \tag{3}$$

где $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ – заданные комплексные числа, $u_0(x, y) \in L_2(\Omega)$ – заданная функция.

Требуется: найти такую функцию $p(x,y,t)$, чтобы решение граничной задачи (1)–(3) удовлетворяло неравенству

$$\left\|u(x,y,t)\right\|_{L_2}(\Omega) \le C_0 e^{-\sigma t}, \quad \sigma > 0, \quad t > 0. \tag{4}$$

Здесь σ – заданная константа, а C_0 – произвольная ограниченная константа.

Замечание. *В работе будет показано, что решение задачи стабилизации (1)–(4) существенно зависит от значений коэффициентов α и β, в том числе от знака их вещественных частей.*

Уравнение (1) называется нагруженным уравнением [5]. Отметим, что задача (1)–(4) с одной точкой нагрузки была изучена в [4]. Граничная задача (1)–(4) в более общем случае при наличии конечного числа линий нагрузок как по переменной x, так и по переменной y было изучена нами в работе [3]. В [3] была введена вспомогательная граничная задача согласно идее расширения исходной области независимых переменных, восходящей к работам А. В. Фурсикова [1].

Вспомогательная граничная задача (ВГЗ)

Введем вспомогательную граничную задачу. Пусть $\Omega_1 = \{x, y : -\pi < x, y < \pi\}$ и $Q_1 = \Omega_1 \times \{t > 0\}$.

$$z_t - \Delta z + \alpha \cdot z_x(0,y,t) + \beta \cdot z_y(x,0,t) = 0, \quad \{x,y,t\} \in Q_1, \tag{1}$$

$$z(x,y,0) = z_0(x,y), \quad \{x,y\} \in \Omega_1, \tag{2}$$

$$\frac{\partial^j z(-\pi,y,t)}{\partial x^j} = \frac{\partial^j z(\pi,y,t)}{\partial x^j}, \ \{y,t\} \in (-\pi,\pi) \times \{t > 0\},$$

$$\frac{\partial^j z(x,-\pi,t)}{\partial y^j} = \frac{\partial^j z(x,\pi,t)}{\partial y^j}, \ \{x,t\} \in (-\pi,\pi) \times \{t > 0\}, \tag{3}$$

где $j = 0,1$.

Требуется: найти такую начальную функцию $z_0(x,y)$, чтобы решение ВГЗ удовлетворяло неравенству

$$\left\|z(x,y,t)\right\|_{L_2}(\Omega_1) \le C_0 e^{-\sigma t}, \ \sigma > 0, \ t > 0, \tag{4}$$

где константы C_0 и σ такие же, как в исходной задаче (1)–(4).

Литература

1. Фурсиков А. В. Стабилизируемость квазилинейного параболического уравнения с помощью граничного управления с обратной связью // Математический сборник. 2001. – Т. 192, № 4. – С. 115–160.

2. Amangaliyeva M., Jenaliyev M., Imanberdiyev K., Ramazanov M. On spectral problems for loaded two-dimension Laplace operator // AIP Conference Proceedings 2016. – Vol. 1759. – P. 020049. https://doi.org/10.1063/1.4959663.

3. Jenaliyev M., Imanberdiyev K., Kassymbekova A. and Sharipov K. Spectral problems arising in the stabilization problem for the loaded heat equation: a two-dimensional and multi-point cases // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2019. – Vol. 7, № 1. – P. 23–37.

4. Дженалиев М. Т., Рамазанов М. И. Стабилизация решения уравнения теплопроводности, нагруженного по нульмерным многообразиям, с помощью граничных управлений // Математический журнал. 2015. – Т. 15, № 4. – С. 33–53.

5. Нахушев А. М. Нагруженные уравнения и их применение. – Москва: Наука, 2012. – 232 с.

ОБ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ

Байшемиров Ж.Д.[1,2], Жанбырбаев А.Б.[1,2], Адил Н.[1,2], Баймурзаев Д.Д.[2,3]

e-mail: zbai.kz@gmail.com

[1]Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Казахстан

[2]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

[3]Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи, Казахстан

Аннотация. *Однофазные течения в двухмасштабной среде изучены уже давно, поэтому основной интерес представляли двухфазные течения. Для несжимаемых двухфазных течений имеется немалое число публикаций, но полностью осредненные модели получены не были. Нам удалось построить полностью осредненную модель для случая умеренной контрастности. Для двухмасштабной среды оказывается возможным получить полностью осредненную модель для умеренно контрастной среды. Этот прием, однако, неприменим для среды с бесконечным числом машстабов из-за того, что условие самоподобия не допускает умеренный контраст. Среда должна быть сильно контрастной на всех масштабах, то есть отношение проницаемостей двух соседних сред должно быть* ε^2. *Поэтому единственной остающейся возможностью является линеаризация уравнений двухфазного течения.*

Применительно к двухфазным течениям в таких средах остается открытым вопрос о принципиальной возможности построения полностью осредненной модели. Дело в том, что взаимодействие нелинейности, присущей двухфазным системам, и неравновесности, порождаемой контрастностью свойств среды, невозможно описать явными математическими моделями.

В самом деле, нелокальность возникает из-за сильной нестационарности течения на уровне одного блока (даже на этом уровне). Такое течение внутри блока

вызвано внешним возмущением в трещине, которое описывается производной $\partial u_{\mathcal{F}} / \partial t$, где $u_{\mathcal{F}}$- решение в трещине (насыщенность одной из фаз или давление). Поэтому решение нестационарной задачи в блоке представимо в виде свертки функции Грина стационарного оператора (обычно это просто лапласиан) с производной $\partial u_{\mathcal{F}} / \partial t$, если задача линейна. В итоге задача сводится к построению функции Грина линейного стационарного оператора в блоке, что осуществимо явно в виде рядов Фурье для любых форм блоков. В нелинейном случае, даже если допустить возможность аналогичного представления решения через некий аналог функции Грина, то ее явное построение для нелинейного стационарного оператора в общем случае невозможно. Поэтому возникает проблема поиска частных ситуаций двухфазного течения, которые допускают явное полное осреднение.

Рассмотрим, как делается линеаризация конкретно. Будем, как и ранее, называть две фазы водой и нефтью. Общие уравнения двухфазного течения имеют следующий безразмерный вид [1-3]:

$$\phi \partial_t u + \mathrm{Ca}\,\mathbf{V} \cdot \nabla F(u) = \nabla \cdot \left(D_c(u) \nabla u \right) \tag{1}$$

где u - насыщенность воды; $F(u)$ - фракционный поток воды, то есть отношение дебита воды к суммарному дебиту двух фаз, являющийся нелинейной монотонно возрастающей функцией насыщенности ; $\mathbf{V}$ - суммарная скорость фильтрации (скорость Дарси); $D_c(u)$ - параметр капиллярной диффузии; ϕ - пористость; Ca - безразмерное капиллярное число, являющееся отношением характерной скорости течения, вызванного внешним перепадом давления, к скорости течения, вызванного капиллярами силами. Параметр D_c имеет следующую структуру:

$$D_c(u) = -\frac{K k_o(u) F(u)}{\mu_o} \frac{dP_c(u)}{du} \tag{2}$$

где K - абсолютная проницаемость среды; $k_o(u)$ - относительная фазовая проницаемость нефти, являющаяся монотонно убывающей функцией насыщенности; μ_o - динамическая вязкость нефти; $P_c(u)$ - капиллярное давление, являющееся монотонно убывающей нелинейной функцией насыщенности. Функция (2) является немонотонной и представлена на графике Рис. 1.

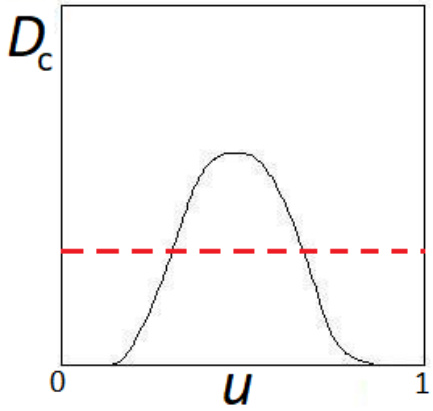


Рис. 1 Нелинейная функция насыщенности

Эта функция является первым источником нелинейности.

Вторым источником нелинейности является конвективный член, содержащий нелинейную функцию фракционного потока $F(u)$.

Третьим источником нелинейности является существование режимов так называемого ненасыщенного течения, когда присутствуют обе фазы, но подвижна только одна из них, а вторая защемлена в порах капиллярными эффектами. Эти режимы определяются критическими значениями насыщенности, которые соответствуют так называемым порогам перколяции. Существование таких режимов приводит к общей нелинейности системы.

Четвертый источник нелинейности связан с тем, что на поверхностях разрыва сред Γ должны соблюдаться условия капиллярного равновесия, которые означают непрерывность капиллярного давления:

$$\left[P_c(u)\right]_\Gamma = 0 \qquad (3)$$

То есть требуется непрерывность некоей нелинейной функции от насыщенности, а не самой насыщенности $_u$. Обычно условие (3) приводит к скачку насыщенности.

В итоге, необходимые условия линеаризации модели двухфазного течения таковы:

- принимается, что капиллярное число мало (то есть чисто капиллярное течение); тем самым устраняется нелинейность конвективного члена;
- капиллярная диффузия $D_c(u)$ заменяется ее постоянным средним значением D (пунктир на Рис. 1);
- нелинейное условие капиллярного равновесия (3) заменяется на линейное.
- пороги перколяции обеих фаз принимаются равными нулю, чтобы исключить режимы ненасыщенного течения.

Тогда мы получаем уравнение диффузии с условием разрыва на скачках свойств среды:

$$\partial_t u = \nabla \cdot \left(D \nabla u \right) \tag{4}$$

$$u^- = \Lambda\left(u^+\right) \equiv 1 - \lambda_c + \lambda_c u^+ \tag{5}$$

где u^- и u^+ - насыщенности в слабо- и высоко-проницаемой среде соответственно, коэффициент λ_c ($0 < \lambda_c \le 1$) является отношением средних угловых коэффициентов кривых капиллярного давления:

$$\lambda_c = \frac{P_c^{+\prime}}{P_c^{-\prime}},$$

где $P_c^{+\prime}$ и $P_c^{-\prime}$ - средняя производная от капиллярного давления по насыщенности в высокопроницаемой и низкопроницаемой среде соответственно.

Коэффициент λ_c будем называть мерой капиллярной неоднородности: если $\lambda_c = 1$, то капиллярные давлениях в блоках и трещинах одинаковы; если $\lambda_c = 0$, то капиллярные давления различаются максимально.

В многомасштабной среде с уменьшением масштаба уменьшается радиус пор и растет роль капиллярных сил. Если характерный макроскопический линейный размер 100 м (расстояние между двумя скважинами), а самые большие блоки неоднородности имеют длину 10 м, то $\varepsilon = 0.1$. Пусть проницаемость больших блоков 0.1 Дарси, а пористость 0.1, что соответствует радиусу пор порядка 10 микрон. Поскольку отношение проницаемостей соседних сред должно быть ε^2, то на втором масштабе неоднородности проницаемость мелких трещин должна быть 0.1 микрон, а мелких блоков 0.001 микрон. В таких узких порах капиллярные силы становятся доминирующими и намного подавляют все остальные силы. Поэтому капиллярное число на самом деле становится очень малым уже на втором масштабе (начиная от самого крупного). Следовательно, гипотеза о малости капиллярного числа абсолютно приемлема.

Линеаризация параметра капиллярной диффузии вносит только качественную модификацию в процесс: известно, что нелинейная диффузия характеризуется конечной скоростью распространения волн, тогда как линеаризация приводит к бесконечной скорости. Фактически это означает следующее. Рассмотрим задачу о распространении волны насыщенности воды в пласте, изначально занятом чистой нефтью (начальная насыщенность u есть ноль). Тогда истинное решение негладкое вблизи нуля и имеет слабый разрыв (кривая 1 на Рис.2), тогда как решение линеаризованной задачи гладкое и не обращается в ноль, но экспоненциально затухает к нулю (кривая 2).

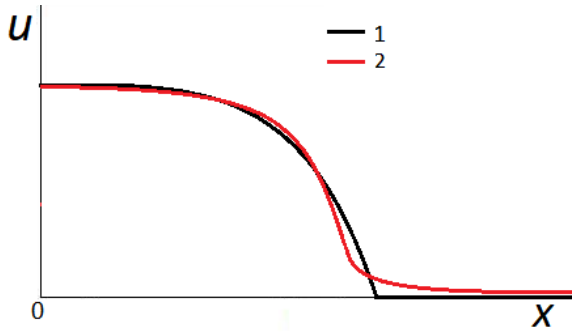


Рис. 2. Насыщенность воды вдоль пространственной кооржинты в задаче о закачке воды в пласт, изначально не содержащий воду

Линеаризация условия капиллярного равновесия на скачках (5) может вносить некоторую количественную погрешность, но позволяет сохранить важный капиллярный эффект в модели (4), которое описывает именно капиллярное течение [4-7].

Наибольшая погрешность, вне сомнения, вносится последней гипотезой, устраняющей зоны недонысыщенного течения, и фактически исключающей эффекты капиллярного защемления фаз в порах. Именно эта гипотеза, как и гипотеза о малости капиллярного числа, определяет область применимости модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта КН МОН РК №AP05132680.

Литература

1. Yeh L.M. Hölder continuity for two-phase flows in porous media // Math. Methods Appl. Sci. – 2006.-Vol.29, Issue 11. –P.1261-1289.
2. Panfilov M. Physicochemical Fluid Dynamics in Porous Media: application in geosciences and petroleum engineering. Wiley-VCH, 2019.
3. Байшемиров Ж.Д., Жанбырбаев А.Б., Баймурзаев Д.Д. Усредненная модель неравновесной двухфазной фильтрации несжимаемых жидкостей в двухмасштабной среде с сильно контрастными свойствами. Вестник КБТУ, №4(15), 2018. –с. 49-55.
4. Panfilov M., and Rasoulzadeh M. Appearance of the nonlinearity from the nonlocality in diffusion through multiscale fractured porous media. Computational Geosciences, 17: 269–286 (2013).
5. Panfilov M. Physicochemical Fluid Dynamics in Porous Media: application in geosciences and petroleum engineering. Wiley-VCH, 2019.
6. Amaziane B., Milisic J.P., Panfilov M., and Pankratov L. Generalized nonequilibrium capillary relations for two-phase flow through heterogeneous media. Physical Review E, 85, 016304 (2012).
7. Байшемиров Ж.Д., Бердышева Д. Об усредненной модели равновесной двухфазной фильтрации сжимаемых жидкостей. Вестник КБТУ, №4(15), 2018. –с. 56-59.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

ПОРЯДОК ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ПОПЕРЕЧНИКА КЛАССА НИКОЛЬСКОГО-БЕСОВА СО СМЕШАННОЙ МЕТРИКОЙ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ ЛОРЕНЦА

Бекмаганбетов К.А., Нурсултанов Е.Д., Төлеуғазы Е.
e-mail: toleugazy-y@yandex.ru
Казахстанский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Казахстан

Аннотация. *В данной статье оценен порядок тригонометрического поперечника класса Никольского-Бесова $B^{\boldsymbol{\alpha\tau}}_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)$ со смешанной метрикой в анизотропных пространствах Лоренца $L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)$ при условии $\mathbf{1} < \mathbf{p} = (p_1, \dots, p_n) < \mathbf{2} < \mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)$.*

Пусть$V \subset L_1(\mathbb{T}^n)$ – нормированное пространство и $F \subset V$ – некоторый функциональный класс. Тригонометрический поперечник класса F в пространстве V определяется следующим образом (см. [1]).

$$d_M^T(F, V) = \inf_{\Omega_M} \sup_{f \in F} \inf_{t(\Omega_M; \mathbf{x})} \|f(\cdot) - t(\Omega_M; \cdot)\|_V,$$

где $t(\Omega_M; \mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{M} c_j e^{i(k_j, x)}$, $\Omega_M = \{k_1, \dots, k_M\}$ – набор векторов $k_j = (k_1^j, \dots, k_n^j)$ из целочисленной решетки $\mathbb{Z}^n$,c_j – некоторые числа $(j = 1, \dots, M)$.

Понятие тригонометрического поперечника в одномерном случае впервые введено Р.С. Исмагиловым и им были установлены его оценки для некоторых классов в пространстве непрерывных функций. Для функций многих переменных точные порядки тригонометрических поперечников класса Соболева $W_{\mathrm{p}}^{\mathrm{r}}$, Никольского $H_{\mathrm{p}}^{\mathrm{r}}$ в пространстве L_{q} установлены Э.С.Белинским [2], В.Е. Майоровым [3], Ю. Маковозом [4], Г.Г. Магарил-Ильяевым [5], В.Н. Темляковым [6]. Эта задача для класса Бесова исследована А.С. Романюком [7], Д.Б. Базархановым [8].

Нами исследуется задача об оценке порядка тригонометрического поперечника класса Никольского-Бесова $B^{\boldsymbol{\alpha\tau}}_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)$ со смешанной метрикой в анизотропных пространствах Лоренца $L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)$.

Приведем необходимые определения и сформулируем некоторые вспомогательные результаты.

Пусть $\mathbf{1} \le \mathbf{p} = (p_1, \dots, p_n) < \infty$, пространством Лебега со смешанной метрикой называется множество функций, для которых конечна норма

$$\|f\|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)} = \left(\int_0^{2\pi} \left(\dots \left(\int_0^{2\pi} |f(x_1, \dots, x_n)|^{p_1} \mathrm{d}x_1 \right)^{\frac{p_2}{p_1}} \dots \right)^{\frac{p_n}{p_{n-1}}} \mathrm{d}x_n \right)^{\frac{1}{p_n}}.$$

При $p = \infty$ выражение $\left(\int_0^{2\pi} |f(t)|^p \mathrm{d}t\right)^{1/p}$ понимается как $\sup_{0\le\theta<2\pi}|f(t)|$.

Для тригонометрического ряда $f \in L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)$ обозначим

$$\Delta_{\mathbf{s}}(f,\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{k}\in\rho(\mathbf{s})} a_{\mathrm{k}} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})},$$

где $\{a_{\mathbf{k}}(f)\}_{\mathbf{k}\in\mathbb{Z}^n}$ – коэффициенты Фурье функции f по тригонометрической системе, $\rho(\mathbf{s}) = \{\mathrm{k} = (k_1,\dots,k_n) \in \mathbb{Z}^{\mathrm{d}}: [2^{\mathrm{s}_i-1}] \le |k_i| < 2^{\mathrm{s}_i}, i = 1,\dots,n\}$, $(\mathbf{k},\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n k_i x_i$.

Пусть $\mathbf{0} < \boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1,\dots,\alpha_n) < \infty$, $\mathbf{0} < \boldsymbol{\tau} = (\tau_1,\dots,\tau_n) \le \infty$. Классом Никольского-Бесова $B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\tau}}(\mathbb{T}^n)$ со смешанной метрикой (см. [9]) назовем множество функций $f \in L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)$, удовлетворяющих условию

$$\|f\|_{B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\tau}}(\mathbb{T}^n)} = \left\| \left\{ \mathbf{2}^{(\boldsymbol{\alpha},\mathbf{s})} \|\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s}\in\mathbb{Z}_+^n} \right\|_{l_\tau} \le 1,$$

здесь $\|\cdot\|_{l_\tau}$ – норма дискретного пространства Лебега l_τ со смешанной метрикой.

Пусть функция$f(\mathbf{x}) = f(x_1,\dots,x_n)$ измерима в $\mathbb{T}^n$. Через $f^*(\mathbf{t}) = f^{*_1,\dots,*_n}(t_1,\dots,t_n)$ обозначим функцию, полученную применением невозрастающей перестановки к функции $f(\mathbf{x}) = f(x_1,\dots,x_n)$ последовательно по переменным $x_1,\dots,x_n$ при фиксированных остальных переменных.

Пусть мультииндексы $\mathbf{q} = (q_1,\dots,q_{\mathrm{n}})$, $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1,\dots,\theta_n)$ такие, что если $0 < j_j < \infty$, то $0 < \theta_j \le \infty$, если же $\mathrm{p}_j = \infty$, то и $\theta_j = \infty$, $j = 1,\dots,n$.

Анизотропным пространством Лоренца [10] назовем множество функций, для которых конечна следующая величина

$$\|f\|_{L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)} = \left(\int_0^{2\pi} \left(\mathrm{t}_n^{\frac{1}{qn}} \dots \left(\int_0^{2\pi} \left(\mathrm{t}_1^{\frac{1}{q_1}} f^{*_1,\dots,*_n}(t_1,\dots,t_n) \right)^{\theta_1} \frac{\mathrm{d}t_1}{t_1} \right)^{\frac{\theta_2}{\theta_1}} \dots \right)^{\frac{\theta_n}{\theta_{n-1}}} \frac{\mathrm{d}t_n}{t_n} \right)^{\frac{1}{\theta_n}}.$$

Приведем некоторые вспомогательные результаты.

Пусть Ω_M – множество, содержащее не более чем M векторов $\mathbf{k} = (k_1,\dots,k_n) \in \mathbb{Z}^n$.

Лемма 1. *Пусть* $\mathbf{2} \le \mathbf{q} < \infty$. *Тогда для любого тригонометрического полинома*

$$P(\Omega_M;\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{M} e^{i(\mathbf{k}^j,\mathbf{x})}$$

и любого числа $N \le M$ *найдется тригонометрический полином* $P(\Omega_N; \mathbf{x})$*, содержащий не более* N *гармоник и такой, что*

$$\|P(\Omega_M,\cdot) - P(\Omega_N,\cdot)\|_{L_{\mathbf{q}}(\mathbb{T}^n)} \le CMN^{-1/2},$$

причем $\Omega_N \subset \Omega_M$*, все коэффициенты* $P(\Omega_N, \mathbf{x})$ *одинаковы и не превышают* MN^{-1}.

Следствие 1. *Пусть* $\mathbf{2} < \mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)$, $\mathbf{0} < \boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n) \le \infty$. *Тогда для любого тригонометрического полинома*

$$P(\Omega_M; \mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{M} e^{i(\mathbf{k}^j, \mathbf{x})}$$

и любого числа $N \le M$ *найдется тригонометрический полином* $P(\Omega_N; \mathbf{x})$*, содержащий не более* N *гармоник и такой, что*

$$\|P(\Omega_M,\cdot) - P(\Omega_N,\cdot)\|_{L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)} \le CMN^{-1/2},$$

причем $\Omega_N \subset \Omega_M$*, все коэффициенты* $P(\Omega_N, \mathbf{x})$ *одинаковы и не превышают* MN^{-1}.

Для каждого$\mathbf{s} \in \mathbb{Z}_+^n$ рассмотрим линейный оператор

$$\left(T_{N_\mathbf{s}} f\right)(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) * \left(\sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s})} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})} - t(\Omega_{N_\mathbf{s}}, \mathbf{x}) \right),$$

где $t(\Omega_{N_\mathbf{s}}, \mathbf{x})$ – тригонометрический полином из следствия 1, которым приближается «блок» $t_{N_\mathbf{s}}(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s})} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})}$.

Лемма 2. *Пусть* $\mathbf{1} < \mathbf{p} < \mathbf{2}$, *мультииндекс* $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)$ *такой, что* $2 < q_j < p'$ *для всех* $j = 1, \dots, n$ *и* $\mathbf{0} < \boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n) \le \infty$. *Тогда норма оператора* $T_{N_\mathbf{s}}$*, действующего из* $L_\mathbf{p}(\mathbb{T}^n)$ *в* $L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)$*, удовлетворяет неравенству*

$$\left\|T_{N_\mathbf{s}}\right\|_{L_\mathbf{p}(\mathbb{T}^n) \to L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)} \le C 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_\mathbf{s}^{-(\mathbf{1/2+1/p'})}.$$

Доказательство. Принимая во внимание, что коэффициенты полинома $t(\Omega_{N_\mathbf{s}}, \mathbf{x})$ одинаковы и не превышают $2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_\mathbf{s}^{-1}$, в силу равенства Парсеваля будем иметь

$$\left\|T_{N_\mathbf{s}}\right\|_{L_\mathbf{2}(\mathbb{T}^n) \to L_\mathbf{2}(\mathbb{T}^n)} \le C_1 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_\mathbf{s}^{-1}. \quad (1)$$

Далее, воспользовавшись обобщенным неравенством Минковского и следствием 1, можно записать

$$\left\|T_{N_\mathbf{s}} f\right\|_{L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)} \le \|f\|_{L_1(\mathbb{T}^n)} \left\| \sum_{\mathbf{k} \in \boldsymbol{\rho}(\mathbf{s})} e^{i(\mathbf{k},\cdot)} - t(\Omega_{N_\mathbf{s}},\cdot) \right\|_{L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)}$$
$$\le C_2 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_\mathbf{s}^{-1/2} \|f\|_{L_\mathbf{1}(\mathbb{T}^n)}.$$

Отсюда согласно определению $\left\|T_{N_{\mathbf{s}}}\right\|_{L_{\mathbf{1}}(\mathbb{T}^n)\to L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)}$ находим

$$\left\|T_{N_{\mathbf{s}}}\right\|_{L_{\mathbf{1}}(\mathbb{T}^n)\to L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)} \le C_2 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_{\mathbf{s}}^{-1/2}. \tag{2}$$

Далее воспользовавшись интерполяционной теоремой Рисса-Торина для пространств Лебега и анизотропных пространств Лоренца получим

$$\left\|T_{N_{\mathbf{s}}}\right\|_{L_{\mathbf{1}}(\mathbb{T}^n)\to L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)} \le \left\|T_{N_{\mathbf{s}}}\right\|^{1-\lambda}_{L_{\mathbf{2}}(\mathbb{T}^n)\to L_2(\mathbb{T}^n)} \left\|T_{N_{\mathbf{s}}}\right\|^{\lambda}_{L_{\mathbf{1}}(\mathbb{T}^n)\to L_{\mathbf{q}^*\boldsymbol{\theta}^*}(\mathbb{T}^n)}, \tag{3}$$

где $0<\lambda<1$ и $1/p=(1-\lambda)/2+\lambda/1$, $\mathbf{1/q}=\mathbf{(1-\lambda)/2+\lambda/q}^*$ и $1/\theta=(1-\lambda)/2+\lambda/\theta^*$.

Подставив (1) и (2) в (3), и выполнив элементарные преобразования, приходим к требуемой оценке с дополнительным условием $\mathbf{0}<\boldsymbol{\theta}=(\theta_1,\dots,\theta_n)<\mathbf{p}'=(p',\dots,p')$. Для оставшихся значений параметра $\boldsymbol{\theta}=(\theta_1,\dots,\theta_n)$ справедливость утверждения вытекает из вложения $L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}_1}(\mathbb{T}^n)\to L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}_2}(\mathbb{T}^n)$ при $\mathbf{0}<\boldsymbol{\theta}_1=(\theta_1^1,\dots,\theta_n^1)\le\boldsymbol{\theta}_2=(\theta_1^2,\dots,\theta_n^2)\le\infty$.

Лемма доказана полностью.

Лемма 3 [9]. Пусть $\mathbf{1}<\mathbf{p}=(p_1,\dots,p_n)<\mathbf{q}=(q_1,\dots,q_n)<\infty$, $0<\boldsymbol{\theta}=(\theta_1,\dots,\theta_n)\le\infty$ и $\boldsymbol{\alpha}=\mathbf{1/p-1/q}$, тогда

$$B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\tau}}(\mathbb{T}^n)\hookrightarrow L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n).$$

Далее нам понадобятся последовательности

$$Y^n(N,\gamma)=\left\{\mathbf{s}=(s_1,\dots,s_n)\in\mathbb{Z}_+^n\colon\sum_{j=1}^n\gamma_j s_j\ge N\right\},$$

$$\aleph^n(N,\gamma)=\left\{\mathbf{s}=(s_1,\dots,s_n)\in\mathbb{Z}_+^n\colon\sum_{j=1}^n\gamma_j s_j= N\right\}.$$

Лемма 4 [10]. Пусть $n\in N$, $n\ge 2$, $\mathbf{0}<\boldsymbol{\gamma}'=(\gamma_1',\dots,\gamma_n')<\boldsymbol{\gamma}=(\gamma_1,\dots,\gamma_n)<\infty$, $\delta>0$ и $\mathbf{0}<\boldsymbol{\varepsilon}=(\varepsilon_1,\dots,\varepsilon_n)\le\infty$. Тогда

$$\left\|\left\{\mathbf{2}^{-\delta(\boldsymbol{\gamma},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(N,\gamma')}\right\|_{l_\varepsilon(\mathbb{Z}_+^n)}\le C2^{-\delta\eta N}N^{\sum_{j\in A\setminus\{j_1\}}1/\varepsilon_j},$$

где $\eta=\min\left\{\frac{\gamma_j}{\gamma_j'}:j=1,\dots,n\right\}$, $A=\{j:\frac{\gamma_j}{\gamma_j'}=\eta,j=1,\dots,n\}$, $j_1=\min\{j:j\in A\}$.

Лемма 5 [10]. Пусть $n\in N$, $n\ge 2$, $\mathbf{0}<\boldsymbol{\gamma}=(\gamma_1,\dots,\gamma_n)<\infty$, $\delta\in\mathbb{R}$ и $\mathbf{0}<\boldsymbol{\varepsilon}=(\varepsilon_1,\dots,\varepsilon_n)\le\infty$. Тогда

$$\left\|\left\{\mathbf{2}^{-\delta(\boldsymbol{\gamma},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in\aleph^n(N,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_\varepsilon(\mathbb{Z}_+^n)} \asymp 2^{-\delta N} N^{\sum_{j=2}^n 1/\varepsilon_j}.$$

Основным результатом является следующее утверждение.

Теорема. *Пусть* $\mathbf{1} < \mathbf{p} = (p_1, \dots, p_n) < \mathbf{2} < \mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n) < \mathbf{p_0'} = (p'_0, \dots, p'_0)$, $p_0 = max\{p_j : j = 1, \dots, n\}$, $\mathbf{1} \le \boldsymbol{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_n), \boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n) \le \infty$ *и* $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ *таково, что* $\alpha_j > 1 + 1/p_j - 1/p_0$ *для всех* $j = 1, \dots, n$. *Пусть далее* $\zeta = min\{\alpha_j - 1/p_j + 1/q_j : j = 1, \dots, n\}$, $D = \{j = 1, \dots, n : \alpha_j - 1/p_j + 1/q_j = \zeta\}$, $j_1 = min\{j : j \in D\}$, $q_j = q_{j_1}$ *для всех* $j \in D$ *и* $q_j \ge q_{j_1}$ *для всех* $j \notin D$.

Тогда справедливо следующее соотношение

$$d_M^T(B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha\tau}}(\mathbb{T}^n), L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)) \asymp$$

$$\asymp M^{-(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/2)} (\log M)^{(|D|-1)(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/2) + \sum_{j \in D\setminus\{j_1\}} (1/2 - 1/\tau_j)_+}, \qquad (4)$$

где $|D|$ *– количество элементов множества* D, $a_+ = \max(a; 0)$.

Доказательство. Пусть $f \in B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha\tau}}(\mathbb{T}^n)$. Для произвольного натурального числа M найдется натуральное число m такое, что $M \asymp 2^m m^{(|D|-1)}$. Приближающий полином $P(\Omega_M; \mathbf{x})$ будем искать в следующем виде

$$P(\Omega_M; \mathbf{x}) = \sum_{(\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s})} \Delta_{\mathbf{s}}(f, \mathbf{x}) + \sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m} t\left(\Omega_{N_{\mathbf{s}}}; \mathbf{x}\right) * \Delta_{\mathbf{s}}(f, \mathbf{x}) \qquad (5)$$

где $\beta = \frac{\left(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/2 - \frac{\log m}{m} \sum_{j \in D\setminus\{j_1\}} \left((1/2 - 1/\tau_j)_+ - (1/\theta_j - 1/\tau_j)_+\right)\right)}{(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/q_{j_1})}$,

$\gamma_j = \left(\alpha_j - 1/p_j + 1/q_j\right) / \left(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/q_{j_1}\right)$, $j = 1, \dots, n$, $\gamma_j' = \gamma_j$ при $j \in D$ и $1 < \gamma_j' < \gamma_j$ при $j \notin D$. Полиномы $t\left(\Omega_{N_{\mathbf{s}}}; \mathbf{x}\right)$ выбираются для каждого “блока” $t_{\mathbf{s}}(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s})} e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})}$ согласно следствию 1, числа $N_{\mathbf{s}} = \left[2^{(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0)m} 2^{-(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{1/p} + \mathbf{1/p_0} - \mathbf{1}, \mathbf{s})}\right]$.

Заметим, что согласно лемме 4

$$\sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m} N_{\mathbf{s}} = 2^{(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0)m} \sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m} 2^{-(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{1/p} + \mathbf{1/p_0} - \mathbf{1}, \mathbf{s})} \le$$

$$\le 2^{(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0)m} \left\|\left\{2^{-(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{1/p} + \mathbf{1/p_0} - \mathbf{1}, \mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s} \in Y^n(m, \boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_1} \le$$

$$\le 2^{(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0)m} 2^{-(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0)m} m^{(|D|-1)} = 2^m m^{(|D|-1)} \asymp M,$$

так как $\left(\alpha_j - 1/p_j + 1/p_0 - 1\right) / \left(\alpha_{j_1} - 1/p_{j_1} + 1/p_0 - 1\right) > \gamma_j'$ при $j \notin D$.

В силу равенства (5) и неравенства Минковского получим

$$\|f(\cdot) - P(\Omega_M; \cdot)\|_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)} \le$$

$$\leq C_1\left(\left\|\sum_{m\leq(\boldsymbol{\gamma}',\mathbf{s})<\beta m}\left(\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)-\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\ *\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.t\left(\Omega_{N_{\mathbf{s}}};\cdot\right)\right)\right\|_{L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)}+\left\|\sum_{(\boldsymbol{\gamma}',\mathbf{s})\geq\beta m}\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\right\|_{L_{\mathbf{q}\boldsymbol{\theta}}(\mathbb{T}^n)}\right)=C_1(I_1(f)+I_2(f)) \quad (6)$$

Сначала оценим $I_2(f)$. Согласно теореме 3 получим

$$I_2(f)\leq C_2\left\|\left\{2^{(\mathbf{1/p-1/q},\mathbf{s})}\|\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\theta}}}\leq I_3(f). \quad (7)$$

Согласно неравенства Гельдера с параметрами $\mathbf{1/\theta=1/\tau+1/\varepsilon}$, где $\mathbf{1/\varepsilon}=(\mathbf{1/\theta-1/\tau})_+$ и леммы 4, с учетом того, что $\boldsymbol{\gamma}'\leq\boldsymbol{\gamma}$, получим

$$I_3(f)=\left\|\left\{2^{(\boldsymbol{\alpha},\mathbf{s})}\|\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)}\cdot 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})(\boldsymbol{\gamma},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\theta}}}\leq$$

$$\leq\left\|\left\{2^{(\boldsymbol{\alpha},\mathbf{s})}\|\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot)\|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\tau}}}\times$$

$$\times\left\|\left\{2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})(\boldsymbol{\gamma},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}}\leq$$

$$\leq C_3\|f\|_{B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\tau}}(\mathbb{T}^n)}\cdot 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})\beta m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}1/\varepsilon_j}\leq$$

$$\leq C_3 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})\beta m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/\theta_j-1/\tau_j)_+}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7) получим

$$I_2\leq C_4 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})\beta m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/\theta_j-1/\tau_j)_+}.$$

Далее подставляя значение β, получим

$$2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/q_{j_1})\beta m}=2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)\beta m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+},$$

и, следовательно

$$I_2(f)\leq C_4 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)\beta m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+}.$$

Учитывая, что $M\asymp 2^m m^{(|D|-1)}$, получим

$$I_2(f)\leq C_5 M^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)}(\log M)^{(|D|-1)(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)+\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+}. \quad (9)$$

Теперь оценим величину $I_1(f)$. Используя теорему Литтлвуда-Пэли (см. [11]), получим

$$I_1(f) = \left\| \sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m} \left(\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) - \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) * t\left(\Omega_{N_{\mathbf{s}}};\cdot\right) \right) \right\|_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)} \le$$

$$\le C_6 \left(\left\| \sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m} \left(\Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) - \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) * t\left(\Omega_{N_{\mathbf{s}}};\cdot\right) \right) \right\|^2_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)} \right)^{1/2} \le$$

$$\le C_6 \left\| \left\{ \left\| \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) * \left(\sum_{\mathbf{k} \in \boldsymbol{\rho}(\mathbf{s})} e^{i(\mathbf{k},\cdot)} - t(\Omega_{N_{\mathbf{s}}},\cdot) \right) \right\|_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_2} =$$

$$= C_6 \left\| \left\{ \| T_{\mathbf{s}} \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) \|_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_2} \qquad (10)$$

где $\aleph^n(m, \beta m, \boldsymbol{\gamma}') = \{\mathbf{s} \in \mathbb{Z}^n_+ : m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s}) < \beta m\}$.

Пользуясь леммой 2 и неравенством разных метрик для тригонометрических полиномов в пространствах Лебега со смешанной метрикой при $1 < p_j < p_0$ $(j = 1, \ldots, n)$, из (10) получим

$$I_1(f) \le C_7 \left\| \left\{ 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')} \| \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) \|_{L_{\mathbf{p_0}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_2} \le$$

$$\le C_8 \left\| \left\{ 2^{(\mathbf{1},\mathbf{s})} N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')} 2^{(\mathbf{1/p+1/p_0},\mathbf{s})} \| \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) \|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_2} =$$

$$= C_8 \left\| \left\{ N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')} 2^{-(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1/p}+\mathbf{1/p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})} \cdot 2^{(\boldsymbol{\alpha},\mathbf{s})} \| \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) \|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_2}. \qquad (11)$$

Воспользуемся неравенством Гельдера с параметрами $\mathbf{1/2 = 1/\tau + 1/\varepsilon}$, где $\mathbf{1/\varepsilon = (1/2 - 1/\tau)_+}$, тогда из (11) получим

$$I_1(f) \le C_8 \left\| \left\{ 2^{(\boldsymbol{\alpha},\mathbf{s})} \| \Delta_{\mathbf{s}}(f,\cdot) \|_{L_{\mathbf{p}}(\mathbb{T}^n)} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_{\boldsymbol{\tau}}} \times$$
$$\times \left\| \left\{ N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')} 2^{-(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1/p}+\mathbf{1/p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})} \right\}_{\mathbf{s} \in \aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')} \right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}} \le$$

$$\le C_8\|f\|_{B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha\tau}}(\mathbb{T}^n)}\left\|\left\{N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')}2^{-(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in\aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}}\le$$

$$\le C_8\left\|\left\{N_{\mathbf{s}}^{-(1/2+1/p_0')}2^{-(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in\aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}} \qquad (12)$$

для любой функции$f\in B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha\tau}}(\mathbb{T}^n)$.

Продолжая (12), согласно лемме 4, получим

$$I_1(f)\le C_8 2^{-(1/2+1/p_0')(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/p_0)m}\times$$

$$\times\left\|\left\{2^{(1/2+1/p_0')(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\cdot 2^{-(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in\aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}}=$$

$$=C_8 2^{-(1/2+1/p_0')(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/p_0)m}\times$$

$$\times\left\|\left\{2^{-(1/2+1/p_0')(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in\aleph^n(m,\beta m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}}\le$$

$$\le C_8 2^{-(1/2+1/p_0')(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/p_0)m}\left\|\left\{2^{-(1/2+1/p_0')(\boldsymbol{\alpha}-\mathbf{1}/\mathbf{p}+\mathbf{1}/\mathbf{p_0}-\mathbf{1},\mathbf{s})}\right\}_{\mathbf{s}\in Y^n(m,\boldsymbol{\gamma}')}\right\|_{l_{\boldsymbol{\varepsilon}}}\le$$

$$\le C_9 2^{-(1/2+1/p_0')(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/p_0)m}2^{-\left(1/2+1/p_0'\right)\left(\alpha_{j_1}-\frac{1}{p_{j_1}}+\frac{1}{p_0}-1\right)m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}1/\varepsilon_j}=$$

$$=C_9 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)m}m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+},$$

так как $(\alpha_j-1/p_j+1/p_0-1)/(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/p_0-1)>\gamma_j'$ при $j\notin D$.

Учитывая, что $M\asymp 2^m m^{(|D|-1)}$, получим

$$I_2(f)\le C_{10}M^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)}(\log M)^{(|D|-1)(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)+\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+}. \qquad (13)$$

Подставляя (9) и (13) в (6), получим неравенство, которое дает оценку сверху в (4).

Для доказательства оценки снизу рассмотрим следующую величину

$$e_M(F)_V=\sup_{f\in F}\inf_{\{b_j,\mathbf{k}_j\}_{j=1}^M}\left\|f-\sum_{j=1}^M b_j e^{i(\mathbf{k}_j,\mathbf{x})}\right\|_V,$$

называемую наилучшим M-членным приближением класса F в метрике пространства V.

Исходя из определений справедливо неравенство $e_M(F)_V \le d_M^T(F,V)$.

Поэтому нижние оценки для $e_M(F)_V$ являются нижними оценками и для $d_M^T(F,V)$.

В силу условия $2 < q_j$ $(j = 1, \dots, n)$, имеем

$$e_M(f)_{L_2(\mathbb{T}^n)} \le C_{11} e_M(f)_{L_{\mathbf{q\theta}}(\mathbb{T}^n)}.$$

Далее для доказательства оценки снизу будем использовать двойственное соотношение, которое следует из более общего результата С.М. Никольского. Согласно этому соотношению для любой функции $f \in L_2(\mathbb{T}^n)$ имеет место равенство

$$e_M(f)_{L_2(\mathbb{T}^n)} = \inf_{\Omega_M} \sup_{P \in \mathcal{L}^\perp, \|P\|_{L_2(\mathbb{T}^n)} \le 1} \left| \int_{\mathbb{T}^n} f(\mathbf{x}) P(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \right|, \tag{14}$$

где $\mathcal{L}$ – линейная оболочка системы функций $\left\{ e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})} \right\}_{\mathbf{k} \in \Omega_M}$.

Рассмотрим функцию

$$f(\mathbf{x}) = m^{-\sum_{j \in D' \setminus \{j_1\}} 1/\tau_j} \sum_{m \le (\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s_0}) < m+n} \prod_{j=1}^{n} 2^{-(\alpha_j + 1 - 1/p_j) s_j^0} \sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s_0})} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})},$$

где $D' = \left\{ j \in D : 2 < \tau_j \right\} \cup \{j_1\}$, $\mathbf{s_0} = (s_1^0, \dots, s_n^0), s_j^0 = s_j$ при $j \in D'$ и $s_j^0 = 0$ при $j \notin D'$.

В работе [12] показано, что функция $C_{12} f(\mathbf{x})$ принадлежит классу $B_{\mathbf{p}}^{\boldsymbol{\alpha\tau}}(\mathbb{T}^n)$.

Теперь построим функцию $P(\mathbf{x})$, удовлетворяющую условию из (14).

Пусть

$$u(\mathbf{x}) = \sum_{(\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s_0}) < m} \sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s_0})} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})}, \tag{15}$$

и Ω_{M} – произвольный набор из целочисленных векторов $\mathbf{k} = (k_1, \dots, k_n)$.

Обозначим через

$$v(\mathbf{x}) = \sum_{(\boldsymbol{\gamma}', \mathbf{s_0}) < m} \sum_{\mathbf{k} \in \rho(\mathbf{s_0}) \cap \Omega_{\mathrm{M}}} e^{i(\mathbf{k},\mathbf{x})}$$

функцию, содержащую только те слагаемые из (15), для которых $\mathbf{k} \in \Omega_{\mathrm{M}}$. Из неравенства Минковского и равенства Парсеваля для функции $\omega(\mathbf{x}) = u(\mathbf{x}) - v(\mathbf{x})$ получим

$$\|\omega\|_{L_2(\mathbb{T}^n)} \le C_{13} M^{1/2}.$$

Рассмотрим функцию $P(\mathbf{x}) = C_{13}^{-1} M^{-\frac{1}{2}} \omega(\mathbf{x})$, тогда $\|P\|_{L_2(\mathbb{T}^n)} \le 1$. И так как функция $\omega(\mathbf{x}) = u(\mathbf{x}) - v(\mathbf{x})$ не содержит гармоник из Ω_{M}, то функция $P \in \mathcal{L}^\perp$. Таким образом, функция $P(\mathbf{x})$ удовлетворяет условиям из (14).

Из (14) и леммы 5 имеем

$$e_M(f)_{L_2(\mathbb{T}^n)} \geq C_{14} M^{-1/2} \left| \int_{\mathbb{T}^n} f(\mathbf{x})\omega(\mathbf{x})d\mathbf{x} \right| \geq$$

$$\geq C_{14} M^{-1/2} m^{-\sum_{j\in D'\setminus\{j_1\}} 1/\tau_j} \sum_{(\boldsymbol{\gamma}',\mathbf{s_0})=m} \prod_{j=1}^{n} 2^{-(\alpha_j+1-1/p_j)s_j^0} \sum_{\mathbf{k}\in\rho(\mathbf{s_0})} 1 =$$

$$\geq C_{14} M^{-1/2} m^{-\sum_{j\in D'\setminus\{j_1\}} 1/\tau_j} \sum_{(\boldsymbol{\gamma}',\mathbf{s_0})=m} \prod_{j=1}^{n} 2^{-(\alpha_j-1/p_j)s_j^0} =$$

$$= C_{14} M^{-1/2} m^{-\sum_{j\in D'\setminus\{j_1\}} 1/\tau_j} \left\| \left\{ 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1})(\mathbf{1},\mathbf{s})} \right\}_{\aleph^{|D|}(\mathbf{1},\mathbf{s})} \right\|_{l_{\mathbf{1}}} \asymp$$

$$\asymp M^{-1/2} m^{-\sum_{j\in D'\setminus\{j_1\}} 1/\tau_j} \cdot 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1})m} m^{(|D|-1)}, \qquad (16)$$

где $\bar{\mathbf{s}} = \left(s_{j_1}, \dots, s_{j_{|D|}}\right)$.

Учитывая, что $M \asymp 2^m m^{(|D|-1)}$ из (16) получим

$$e_M(f)_{L_2(\mathbb{T}^n)} \geq C_{15} 2^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)m} m^{\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+} =$$

$$= C_{16} M^{-(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)} (\log M)^{(|D|-1)(\alpha_{j_1}-1/p_{j_1}+1/2)+\sum_{j\in D\setminus\{j_1\}}(1/2-1/\tau_j)_+}. \qquad (17)$$

Из (17) следует нижняя оценка в (4).

Теорема полностью доказана.

Замечание. *Отметим, что при* $\mathbf{p} = (p, \dots, p)$, $\boldsymbol{\tau} = (\tau, \dots, \tau)$, *и* $\mathbf{q} = \boldsymbol{\theta} = (q, \dots, q)$ *утверждение доказанной теоремы совпадает с соответствующим результатом из работы А.С. Романюка* [7].

Литература

1. Исмагилов Р.С. Поперечники множеств в линейных нормированных пространствах и приближение функций тригонометрическими многочленами // УМН. – 1974. – Т. 29, вып. 3. – С. 161-178.

2. Белинский Э.С. Приближение периодических функций многих переменных «плавающей» системой экспонент и тригонометрические поперечники // Доклады Академии наук СССР. – 1985. – Т. 284, вып. 6. – С. 1294-1297.

3. Майоров В.Е. Тригонометрические поперечники соболевских классов W_p^r в пространстве L_q // Журнал «Математические заметки». – 1986. – Т. 40, вып. 2. – С. 161-173.

4. Makovoz Y. On trigonometric n-widths and their generalization // J. Approx. Theory. – 1984. – Vol. 41, №4. – P. 361–366.

5. Магарил-Ильяев Г.Г. Тригонометрические поперечники соболевских классов функций на R^n // Труды МИАН СССР. – 1988. – Т. 181. – С. 147–155.

6. Temlyakov V.N. Widths of some classes of functions of several variables // Soviet Math. Dokl. – 1982. – Vol. 26. - P. 619-622.

7. Romanyuk A.S. Best trigonometric and bilinear approximations of classes of functions of several variables // Math. Notes. –V. 94. –2013. – №3. –P. 379-391.

8. БазархановД. Б. Оценки некоторых аппроксимативных характеристик пространств Никольского-Бесова обобщенной смешанной гладкости // ДАН, Математика, – 2009, – Т. 426, № 1, С. 11-14.

9. Нурсултанов Е.Д. Интерполяционные теоремы для анизотропных функциональных пространств и их приложения // Доклады РАН. – 2004. – Т. 394, №1. – С. 1-4.

10. Bekmaganbetov K.A., Toleugazy Y. On the order of the trigonometric diameter of the anisotropic Nikol'skii-Besov class in the metric anisotropic Lorentz spaces // Analysis Math., 45 (2) (2019), 237–247.

11. Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения. – М.: Наука, 1969. – с. 269.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА-ДИРИХЛЕ ДЛЯ ВЫРОЖДАЮЩЕГОСЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Бердышев А.С.[1], Хасанов А.Х.[2], Рыскан А.Р.[3]
berdyshev@mail.ru, anvarhasanov@mail.ru, ryskan.a727@gmail.com
[1,3]Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан;
Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, г. Алматы, Казахстан;
[2]Институт математики имени В.И. Романовского, Узбекская Академия наук, г. Ташкент, Узбекистан;

Аннотация. *В настоящей работе изучена корректная разрешимость задачи со смешанными условиями Неймана и Дирихле для вырождающегося эллиптического уравнения в четырехмерной области. Доказательство единственности решения задачи получено с помощью метода интеграла энергии. Решение рассматриваемой задачи записывается в явном виде посредством формулы Гаусса Остроградского и выражается через многомерные гипергеометрические функции Лауричелла. Для доказательства существования решения задачи Неймана-Дирихле используются методы интегральных уравнений, а также формулы дифференцирования, разложения, автотрансформации гипергеометрических функций.*

Ключевые слова: *Задача Неймана-Дирихле; Вырождающееся эллиптическое уравнение; Уравнение Геллерстедта от четырех переменных; Фундаментальные решения; Гипергеометрические функции Гаусса и Лауричелла.*

1. Введение

На сегодняшний день интерес к изучению краевых задач для вырождающихся уравнений возрастает в связи с тем, что задачи имеют прикладной характер [1, 2]. Наиболее известные краевые задачи для вырождающихся эллиптических уравнений были хорошо изучены в работах [3-6]. В ходе постановки задач и в исследовании вопросов корректной разрешимости локальных и нелокальных краевых задач для вырождающихся эллиптических уравнений используются фундаментальные решения этих уравнений. Фундаментальные решения, записанные в явном виде, дают возможность правильно сформулировать постановку задачи и детально изучить различные свойства решений рассматриваемого уравнения.

Фундаментальные решения вырождающихся эллиптических уравнений выражаются через многомерные гипергеометрические функции Лауричелла и гипергеометрическую функцию одной переменной Гаусса. Такие задачи естествознания, как задачи динамики и теплопроводности, теории электромагнитных колебаний, аэродинамики, квантовой механики, квантовой химии, теории потенциалов и т.д. приводят к изучению различных свойств многомерных гипергеометрических функций [7-14].

В работе [15] были построены теории простого, двойного и объемного потенциалов с помощью фундаментальных решений, найденных для модифицированного уравнения Гельмгольца [16]. Для эллиптических уравнений с сингулярными коэффициентами двух и трех переменных были построены фундаментальные решения, которые были применены в изучении разрешимости различных задач во многих работах [17-22].

Также в работе [23] была построена теория потенциала двойного слоя для фундаментального решения, обобщенного двухосного симметричного уравнения Гельмгольца. В доказательстве теорем использовались некоторые свойства одной из гирпергеометрических функций Аппеля.

В работе [24] для обобщенного уравнения Геллерстедта

$$y^m z^k t^l u_{xx} + x^n z^k t^l u_{yy} + x^n y^m t^l u_{zz} + x^n y^m z^k u_{tt} = 0,\ m,n,k,l > 0,\ m,n,k,l \equiv const$$

были построены фундаментальные решения. Было показано, что полученные фундаментальные решения обладают особенностью порядка $\frac{1}{r^2}$, при $r \to 0$, где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 + t^2}$. Так как обобщенное уравнение Геллерстедта имеет четыре гиперповерхности вырождения типа уравнения, соответственно получилось шестнадцать фундаментальных решений. Эти фундаментальные решения выражаются через гипергеометрические функции Лауричелла, каждое из которых применяется в решении соответствующих краевых задач.

В решении краевой задачи со смешанными условиями, рассматриваемой в настоящей работе, используется одно из полученных фундаментальных решений.

2. Постановка и решение задачи

Рассмотрим обобщенное уравнение Геллерстедта

$$H(u) = y^m z^k t^l u_{xx} + x^n z^k t^l u_{yy} + x^n y^m t^l u_{zz} + x^n y^m z^k u_{tt} = 0, \quad m,n,k,l > 0,\ m,n,k,l \equiv const \tag{2.1}$$

Введем следующие обозначения:

$$D = \{(x,y,z,t) : x>0, y>0, z>0, t>0\},$$
$$S_1 = \{(0,y,z,t) : x=0, y>0, z>0, t>0\},$$
$$S_2 = \{(x,0,z,t) : x>0, y=0, z>0, t>0\},$$
$$S_3 = \{(x,y,0,t) : x>0, y>0, z=0, t>0\},$$
$$S_4 = \{(x,y,\mathrm{z},0) : x>0, y>0, z>0, t=0\},$$
$$R^2 = \frac{4}{(n+2)^2}x^{n+2} + \frac{4}{(m+2)^2}y^{m+2} + \frac{4}{(k+2)^2}z^{k+2} + \frac{4}{(l+2)^2}t^{l+2}.$$

Задача ND_1. Найти регулярное решение $u(x,y,z,t)$ уравнения (2.1) из класса $C(\bar{D}) \cap C^1(D \cup \overline{S_4}) \cap C^2(D)$, удовлетворяющее условиям:

$$u(x,y,z,t)\big|_{x=0} = \tau_1(y,z,t),\ (y,z,t) \in \overline{S_1}, \tag{2.2}$$

$$u(x,y,z,t)\big|_{y=0} = \tau_2(x,z,t),\ (x,z,t) \in \overline{S_2}, \tag{2.3}$$

$$u(x,y,z,t)\big|_{z=0} = \tau_3(x,y,t),\ (x,y,t) \in \overline{S_3}, \tag{2.4}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}u(x,y,z,t)\Big|_{t=0} = \nu_4(x,y,\mathrm{z}),\ (x,y,\mathrm{z}) \in S_4, \tag{2.5}$$

$$\lim_{R\to\infty} u(x,y,z,t) = 0, \tag{2.6}$$

где $\tau_1(y,z,t), \tau_2(x,z,t), \tau_3(x,y,t), \nu_4(x,y,\mathrm{z}) \in \mathbb{C}$ - заданные непрерывные функции, причем $\nu_4(x,y,\mathrm{z})$ может обращаться в бесконечность порядка меньше чем $1-2\delta$, также при достаточно больших значениях R выполняются неравенства

$$\left|\tau_1(y,z,t)\right| \le \frac{c_1}{\left[1+\frac{4}{(m+2)^2}y^{m+2}+\frac{4}{(k+2)^2}z^{k+2}+\frac{4}{(l+2)^2}t^{l+2}\right]^{\varepsilon_1}}, \tag{2.7}$$

$$\left|\tau_2(x,z,t)\right| \le \frac{c_2}{\left[1+\frac{4}{(n+2)^2}x^{n+2}+\frac{4}{(k+2)^2}z^{k+2}+\frac{4}{(l+2)^2}t^{l+2}\right]^{\varepsilon_2}}, \tag{2.8}$$

$$\left|\tau_3(x,y,t)\right| \le \frac{c_3}{\left[1+\frac{4}{(n+2)^2}x^{n+2}+\frac{4}{(m+2)^2}y^{m+2}+\frac{4}{(l+2)^2}t^{l+2}\right]^{\varepsilon_3}}, \tag{2.9}$$

$$\left|\nu_4(x,y,z)\right| \le \frac{c_4}{\left[1+\frac{4}{(n+2)^2}x^{n+2}+\frac{4}{(m+2)^2}y^{m+2}+\frac{4}{(k+2)^2}z^{k+2}\right]^{\frac{1-2\delta+\varepsilon_4}{2}}}, \tag{2.10}$$

здесь $c_1,c_2,c_3,c_4>0$ и $\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3,\varepsilon_4$ - достаточно малые положительные числа.

С помощью интеграла энергии доказывается, что решение **задачи** ***ND1*** единственно.

Решение **задачи** ***ND1*** записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} u(x_0,y_0,z_0,t_0) = {} & \int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty y^m z^k t^l \tau_1(y,z,t)\frac{\partial}{\partial x}g_{12}(x,y,z,t;x_0,y_0,z_0,t_0)\Big|_{x=0}\,dydzdt + \\ & + \int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty x^n z^k t^l \tau_2(x,z,t)\frac{\partial}{\partial y}g_{12}(x,y,z,t;x_0,y_0,z_0,t_0)\Big|_{y=0}\,dxdzdt + \\ & + \int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty x^n y^m t^l \tau_3(x,y,t)\frac{\partial}{\partial z}g_{12}(x,y,z,t;x_0,y_0,z_0,t_0)\Big|_{z=0}\,dxdydt - \\ & - \int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty x^n y^m z^k \nu_4(x,y,z)\,g_{12}(x,y,z,0;x_0,y_0,z_0,t_0)\,dxdydz. \end{aligned} \tag{2.11}$$

где

$$g_{12}(x,y,z,t;x_0,y_0,z_0,t_0) = k_{12}\left(\frac{4}{n+2}\right)^{\frac{4}{n+2}}\left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}}\left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}}\left(r^2\right)^{\alpha+\beta+\gamma-\delta-4}xyzx_0y_0z_0\times$$

$$\times F_A^{(4)}\left(4-\alpha-\beta-\gamma+\delta;1-\alpha,1-\beta,1-\gamma,\delta;2-2\alpha,2-2\beta,2-2\gamma,2\delta;\xi,\eta,\zeta,\varsigma\right)$$

фундаментальное решение уравнения (2.1). Здесь

$$k_{12}=\frac{1}{4\pi^2}\left(\frac{4}{n+2}\right)^{2\alpha}\left(\frac{4}{m+2}\right)^{2\beta}\left(\frac{4}{k+2}\right)^{2\gamma}\left(\frac{4}{l+2}\right)^{2\delta}\times$$
$$\times\frac{\Gamma(4-\alpha-\beta-\gamma+\delta)\Gamma(1-\alpha)\Gamma(1-\beta)\Gamma(1-\gamma)\Gamma(\delta)}{\Gamma(2-2\alpha)\Gamma(2-2\beta)\Gamma(2-2\gamma)\Gamma(2\delta)},$$

$$\xi=\frac{r^2-r_1^2}{r^2},\ \eta=\frac{r^2-r_2^2}{r^2},\ \zeta=\frac{r^2-r_3^2}{r^2},\quad \varsigma=\frac{r^2-r_4^2}{r^2},$$

$$\left.\begin{matrix}r^2\\ r_1^2\\ r_2^2\\ r_3^2\\ r_4^2\end{matrix}\right\}=\left(\begin{matrix}\\ \frac{2}{n+2}x^{\frac{n+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\begin{matrix}-\\ +\\ -\\ -\\ -\end{matrix}\begin{matrix}\\ \frac{2}{n+2}x_0^{\frac{n+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\right)^2+\left(\begin{matrix}\\ \frac{2}{m+2}y^{\frac{m+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\begin{matrix}-\\ -\\ +\\ -\\ -\end{matrix}\begin{matrix}\\ \frac{2}{m+2}y_0^{\frac{m+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\right)^2$$
$$+\left(\begin{matrix}\\ \frac{2}{k+2}z^{\frac{k+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\begin{matrix}-\\ -\\ -\\ +\\ -\end{matrix}\begin{matrix}\\ \frac{2}{k+2}z_0^{\frac{k+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\right)^2+\left(\begin{matrix}\\ \frac{2}{l+2}t^{\frac{l+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\begin{matrix}-\\ -\\ -\\ -\\ +\end{matrix}\begin{matrix}\\ \frac{2}{l+2}t_0^{\frac{l+2}{2}}\\ \\ \\ \end{matrix}\right)^2,$$

$$\alpha=\frac{n}{2(n+2)},\ \beta=\frac{m}{2(m+2)},\ \gamma=\frac{k}{2(k+2)},\ \delta=\frac{l}{2(l+2)},$$

$$F_A^{(4)}(a;b_1,b_2,b_3,b_4;c_1,c_2,c_3,c_4;x,y,z,t)=\sum_{m,n,p,q}^{\infty}\frac{(a)_{m+n+p+q}(b_1)_m(b_2)_n(b_3)_p(b_4)_q}{(c_1)_m(c_2)_n(c_3)_p(c_4)_q\,m!n!p!q!}x^m y^n z^p t^q$$

$(|x|+|y|+|z|+|t|<1)$

гипергеометрическая функция Лауричелла $F_A^{(n)}$ четырех переменных [5, стр 114 (1)],

где $(a)_n=a(a+1)(a+2)\ldots(a+n-1)=\frac{\Gamma(a+n)}{\Gamma(a)}$ $(n=0,1,2,3,\ldots)$ – символ Похгаммера,

$\Gamma(a)$ – гамма-функция Эйлера.

Для доказательства существования решения задачи используются такие формулы, как:

1) формула дифференцирования гипергеометрических функций

$$\frac{\partial^{i+j+k}}{\partial x^i \partial y^j \partial z^k} F_A^{(3)}(\alpha;\beta_1,\beta_2,\beta_3;\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3;x,y,z)$$
$$= \frac{(\alpha)_{i+j+k}(\beta_1)_i(\beta_2)_j(\beta_3)_k}{(\gamma_1)_i(\gamma_2)_j(\gamma_3)_k} F_A^{(3)}(\alpha+i+j+k;\beta_1+i,\beta_2+j,\beta_3+k;\gamma_1+i,\gamma_2+j,\gamma_3+k;x,y,z),$$
$$i,j,k \in \mathbb{N}_0 = \{0,1,2,...\};$$

2) формула смежных соотношений гипергеометрических функций

$$\frac{b_1}{c_1} x_1 F_A(a+1;b_1+1,b_2,\ldots,b_n;c_1+1,c_2,\ldots,c_n;x_1,\ldots,x_n)$$
$$+\frac{b_2}{c_2} x_2 F_A(a+1;b_1,b_2+1,\ldots,b_n;c_1,c_2+1,\ldots,c_n;x_1,\ldots,x_n)$$
$$+\ldots+\frac{b_n}{c_n} x_n F_A(a+1;b_1,b_2,\ldots,b_n+1;c_1,c_2,\ldots,c_n+1;x_1,\ldots,x_n)$$
$$= F_A(a+1;b_1,\ldots,b_n;c_1,\ldots,c_n;x_1,\ldots,x_n) - F_A(a;b_1,\ldots,b_n;c_1,\ldots,c_n;x_1,\ldots,x_n);$$

3) формула разложения гипергеометрической функции трех переменных по произведениям функций Гаусса

$$F_A^{(3)}(a,b_1,b_2,b_3;c_1,c_2,c_3;x,y,z) = \sum_{n_1,n_2,n_3=0}^{\infty} \frac{(a)_{n_1+n_2+n_3}(b_1)_{n_1+n_2}(b_2)_{n_1+n_3}(b_3)_{n_2+n_3}}{(c_1)_{n_1+n_2}(c_2)_{n_1+n_3}(c_3)_{n_2+n_3}\, n_1!n_2!n_3!} \times$$
$$\times x^{n_1+n_2} y^{n_1+n_3} z^{n_2+n_3} F(a+n_1+n_2,b_1+n_1+n_2;c_1+n_1+n_2;x)$$
$$\times F(a+n_1+n_2+n_3,b_2+n_1+n_3;c_2+n_1+n_3;y) F(a+n_1+n_2+n_3,b_3+n_2+n_3;c_3+n_2+n_3;z);$$

4) формулы для вычисления интегралов

[25, стр 637 (3)]

$$\int_0^\infty \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty \frac{x_1^{p_1-1}x_2^{p_2-1}\ldots x_n^{p_n-1}}{\left[1+(r_1x_1)^{q_1}+(r_2x_2)^{q_2}+\ldots+(r_nx_n)^{q_n}\right]^s} dx_1dx_2\ldots dx_n =$$
$$= \frac{\Gamma\left(\frac{p_1}{q_1}\right)\Gamma\left(\frac{p_2}{q_2}\right)\ldots\Gamma\left(\frac{p_n}{q_n}\right)}{q_1q_2\ldots q_n r_1^{p_1q_1} r_2^{p_2q_2}\ldots r_n^{p_nq_n}} \frac{\Gamma\left(s-\frac{p_1}{q_1}-\frac{p_2}{q_2}-\ldots-\frac{p_n}{q_n}\right)}{\Gamma(s)}, \left(p_i>0,q_i>0,r_i>0,s>0\right);$$

[26, стр 25 (16), (19)]

$$\int_0^{\infty} \left(1+bt^z\right)^{-y} t^x dt = z^{-1} b^{-\frac{x+1}{z}} \mathrm{B}\left(\frac{x+1}{z}, y-\frac{x+1}{z}\right),$$

$$\left(z>0,\, b>0,\, 0<\mathrm{Re}\,\frac{x+1}{z}<\mathrm{Re}\,y\right);$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\sin t\right)^{2x-1} \left(\cos t\right)^{2y-1} dt = \frac{1}{2}\mathrm{B}(x,y),$$

$$\left(\mathrm{Re}\,x>0, \mathrm{Re}\,y>0\right).$$

3. Заключение

Таким образом, в данной работе в явном виде было построено регулярное решение краевой задачи со смешанными условиями Неймана и Дирихле в бесконечной области для четырехмерного вырождающегося эллиптического уравнения. Были установлены существование и единственность поставленной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № AP05131026 Министерства образования и науки РК

Литература

1. Коган, М.Н. О магнитогидродинамических течениях смешанного типа / М.Н. Коган // Прикл. матем. и мех. – С., 1961. – № 25(1). – С. 132-137.

2. Франкль, Ф.И. Избранные труды по газовой динамике / Ф.И. Франкль. – Москва.: Издательство Наука, 1973. –712 с.

3. Бицадзе, А.В. Некоторые классы уравнений в частных производных / А.В. Бицадзе. – Москва.: Наука, 1981. – 448 с.

4. Смирнов, М.М. Вырождающиеся эллиптические и гиперболические уравнения / М.М. Смирнов. - Москва.: Наука, 1966. – 292 с.

5. Appell, P., Kampe de Feriet, J. Fonctions Hypergeometriques et Hyperspheriques; Polynomes d'Hermite / P. Appell, J. Kampe de Feriet. – Paris.: Gauthier-Villars, – 1926.

6. Gilbert, R. Function Theoretic Methods in Partial Differential Equations / R. Gilbert. –New York, London.: Academic Press, 1969.

7. Agmon, S. The fundamental solution and Tricomi's problem for a class of equations of mixed type / S. Agmon. – Amsterdam.: Proc. Internat. Cong. Math. II, 1954.

8. Altin, A. Solutions of type r^m for a class of singular equations / A. Altin // International Journal of Mathematical Science. 1982. – 5(3), – P. 613-619.

9. Bers, L. Mathematical Aspects of Subsonic and Transonic Gas Dynamics / L. Bers. - New York.: Wiley, 1958.

10. Luke, Y. L. The Special Functions and Their Approximations / Y. L. Luke. – New York-London.: Acad. Press, 1969. – V.1.

11. Mathai, A. M., Saxena, R. K. Generalized Hypergeometric Functions with Applications in Statistics and Physical Sciences / A. M. Mathai, R. K. Saxena – Lect. Notes Math, 1973.

12. Niukkanen, A.W. Generalised hypergeometric series NF(x1, . . . , xN) arising in physical and quantum chemical applications / A.W. Niukkanen // J. Phys. A: Math. Gen. 16 (1983) – P. 1813-1825.

13. Rassias, J. M. A maximum principle in R^{n+1} / J. M. Rassias // J. Math. Anal. Appl. 1982. 85, N. 1. – P. 106-113.

14. Sneddon, I.N. Special Functions of Mathematical Physics and Chemistry / I.N. Sneddon. – London and New York.: Third ed. Longman, 1980.

15. Golberg, M.A., Chen, C.S. The method of fundamental solutions for potential, Helmholtz and diffusion problems / M.A. Golberg // Boundary Integral Methods – Numerical and Mathematical Aspects, Comput. Mech. Publ., 1998. – P. 103–176.

16. Itagaki, M. Higher order three-dimensional fundamental solutions to the Helmholtz and the modified Helmholtz equations / M. Itagaki // Eng. Anal. Bound. Elem., 1995. – 15, – P. 289–293.

17. Agarwal, P., Karimov, E., Mamchuev, M., Ruzhansky, M. On boundary-value problems for a partial differential equation with Caputo and Bessel operators, in Recent applications of harmonic analysis to function spaces, differential equations, and data science / P. Agarwal, E. Karimov, M. Mamchuev, M. Ruzhansky // Appl. Numer. Harmon. Anal., Birkhauser / Springer, 2017. – P. 707-718.

18. Fryant, A.J. Growth and complete sequences of generalized bi-axially symmetric potentials / A.J. Fryant // J. Differential Equations. 1979. – 31(2), – P. 155–164.

19. Hasanov A., Karimov E.T. Fundamental solutions for a class of three-dimensional elliptic equations with singular coefficients / A. Hasanov, E.T. Karimov // Appl. Math. Letters. 2009. N. 22. – P. 1828–1832.

20. Karimov, E.T. On a boundary problem with Neumann's condition for 3D singular elliptic equations / E.T. Karimov // Appl. Math. Lett. 2010. N. 23, – P. 517–522.

21. Kitagawa, T. On the numerical stability of the method of fundamental solution applied to the Dirichlet problem / T. Kitagawa // Japan J. Appl. Math. 1988. N. 5. – P. 123–133.

22. Salakhitdinov, M.S., Hasanov, A. A solution of the Neumann–Dirichlet boundary-value problem for generalized bi-axially symmetric Helmholtz equation / M.S. Salakhitdinov, A. Hasanov // ComplexVar. EllipticEqu. 2008. N. 53(4), – P. 355–364.

23. Berdyshev A.S., Hasanov A., Ergashev T. Double-layer potentials for a generalized bi-axially symmetric Helmholtz equation II / A.S. Berdyshev, A. Hasanov, T. Ergashev // Complex Variables and Elliptic Equations. 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/174769 https://doi.org/33.2019.1583219

24. Hasanov A., Berdyshev A. S., Ryskan A. R. Fundamental solutions for a class of four-dimensional degenerate elliptic equation / A. Hasanov, A.S. Berdyshev, A.R. Ryskan // Complex Variables and Elliptic Equations. 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/17476933.2019.1606803

25. Градштейн, И.С., Рыжик, И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – Москва.: Физматгиз 4-е изд, 1963. – 1100 с

26. Бейтмен, Г., Эрдейи, А. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрические функции. Функции Лежандра / Г.Бейтмен, А.Эрдейи. – Москва.: Наука, 1973. – 296 с.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА КОНЕЧНОМ ОТРЕЗКЕ ВРЕМЕНИ

Беркимбаева С.Б., Дальбекова К.С., Гусманова Ф.Р., Искакова А.К.
aksu1963@gmail.com, dks7777@mail.ru
Университет международного бизнеса

Аннотация. *Рассматриваются системы с распределенными параметрами описываемые уравнениями в частных производных первого порядка. Ставится задача нахожденния управления движением рассматриваемых систем, которая приводит систему в нулевое состояние за конечный промежуток времени, при этом на управляющие воздействия ставятся ограничения.*

Рассматриваются управляемые системы с распределенными параметрами, описываемые линейными уравнениями в частных производных

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Au + w \tag{1}$$

разрешенное относительно первой производной по времени, где $u(x,t)$ – скалярная функция n-мерного вектора $x = (x_1,...,x_n)$ пространственных координат и времени t, характеризующая состояние системы, w- искомое управление, А-линейный дифференциальный оператор, содержащий частные производные по координатам x_i, $i = \overline{1,n}$.

Уравнение (1) рассматривается в некоторой ограниченной области изменения пространственных переменных $x \in \Omega$ и при $t > 0$. На границе Γ области Ω должно удовлетворяться однородное граничное условие вида:

$$Mu = 0,\ M = (M_1,...,M_m),\ x \in \Gamma \tag{2}$$

Здесь M_j – линейный дифференциальный оператор.

Начальное условие имеет вид:

$$u(x,t)\big|_{t=0} = u(x,0) = u_0(x),\ x \in \Omega \tag{3}$$

На управляющую функцию w в уравнении (1) наложено ограничение:

$$\left|w(x,t)\right| \le w^0,\ x \in \Omega,\ t \ge 0 \tag{4}$$

где $w^0 > 0$ – заданная постоянная.

Задача состоит в построении стабилизирующего управления $w(x,t)$ удовлетворяющее ограничению (4) и такое, что соответствующее ему решение уравнения (1) с граничным условием (2) обращается в нуль в некоторый конечный момент T>0. Точнее, всюду в Ω должно быть выполнено условие

$$u(x,T)=0.$$

Решение задачи базируется на метод Фурье для разделения временной и простанстранственной зависимостей. Решение уравнения (1) будем искать в виде разложений по собственным функциям:

$$u(x,t)=\sum q_k(t)\varphi_k(x) \tag{8}$$

где $q_k(t)-$ некоторые функций времени.

Управление w также представим в виде:

$$w(x,t)=\sum v_k(t)\varphi_k(x) \tag{9}$$

где $v_k(t)-$ пока неизвестные функции времени. Подставляя разложения (8), (9) в уравнение (1) получим

$$\dot{q}_k+\lambda_k q_k=v_k \tag{10}$$

Получим начальное условие в виде

$$q_k(0)=q_k^0=\int_\Omega u_0(x)\varphi_k(x)dx \tag{11}$$

Таким образом, исходная задача управления для уравнений в частных производных (1) свелась к задаче управления счетных линейных управляемых систем (10). На управляющие функции v_k этих систем наложим ограничения

$$|v_k(t)|<a_k,\quad t\ge 0 \tag{12}$$

Значения постоянных a_k должны быть выбраны так, чтобы удовлетворялось ограничение (4).

Учитывая (9) и (12) получим

$$|w(x,t)|\le\sum a_k|\varphi_k(x)|.$$

Следовательно, для выполнения исходного ограничения (4) достаточно потребовать, чтобы при всех $x\in\Omega$ удовлетворялось неравенство

$$\sum a_k \left|\varphi_k(x)\right| \le w^0, \quad x \in \Omega \tag{13}$$

Итак, для решения поставленной задачи управления уравнениями (1) достаточно решить следующие задачи управления системой (18). Требуется построить управления по обратной связи $v_k(q_k,t)$ и приводящая эту систему в нулевое состояние за конечное время при любых начальных условиях вида (11), т.е. решить задачу стабилизации движения на конечном отрезке времени.

Стабилизирующее управление типа обратной связи можно представить в виде [1]

$$v_k(q_k,t) = -K_k(t)q_k, \quad t \in [0,T) \tag{14}$$

где $K_k(t) = W_k^{-1}(t,T), \quad W_k(t,T) = n_k^2(t)R_k(t,T)$

$$Q_k(t) = n_k^{-1}(t), \quad R_k(t,T) = \int_t^T n_k^2(\tau)d\tau, \quad R_k(0,T) > 0 \tag{15}$$

Управление (14) с другой стороны совпадает с программным управлением:

$$v_k(t) = -Q_k R_k^{-1}(0,T)q_k^0, \quad t \in [0,T)$$

и при этом

$$q_k(t) = n_k(t)\, R_k(t,T)R_k^{-1}(0,T)q_k^0$$

$$q_k(T) = 0.$$

Следовательно, для выполнения ограничения

$$\left|v_k\right| \le a_k \tag{16}$$

Потребуем, чтобы $\left|Q_k(t)R_k^{-1}(0,T)q_k^0\right| \le a_k$ в силу выбора Т и q_k^0.

Тогда управление типа обратной связи (15) также решает задачу о стабилизации движения системы (10) при ограниченном управлении. Для полученного стабилизирующего управления минимизируется функционал:

$$J_k \int_0^t v_k^2(t)dt \tag{17}$$

Вычислим теперь выражения из (15). Здесь фундаментальная функция Π_k^t определяется из уравнения: $\dot{\Pi}_k(t) = -\lambda_k \Pi_k(t), \quad \Pi_k(0) = 1,$ т.е. $\Pi_k(t) = e^{-\lambda_k t}$.

Следовательно,

$$Q_k(t) = e^{-\lambda_k t}. \quad R_k(0,T) = \frac{1}{2\lambda_k}\left(e^{2\lambda_k T} - 1\right) > 0,$$

$$W_k(t,T)=\frac{e^{-2\lambda_k t}}{2\lambda_k}\left(e^{2\lambda_k T}-e^{2\lambda_k t}\right)=\frac{1}{2\lambda_k}\left[e^{2\lambda_k (T-t)}-1\right],$$

$$K_k(t)=\frac{2\lambda_k}{e^{2\lambda_k (T-t)}-1}.$$

$$v_k(q_k,t)=-\frac{2\lambda_k}{e^{2\lambda_k (T-t)}-1}q_k \quad t\in[0,T), \tag{18}$$

А программное управление

$$v_k(t)=e^{\lambda_k t}\frac{2\lambda_k}{e^{2\lambda_k T}-1}q_k^0 \quad t\in[0,T), \tag{19}$$

при этом $q_k(t)=e^{-\lambda_k t}\frac{1}{2\lambda_k}\left(e^{2\lambda_k T}-e^{2\lambda_k t}\right)\frac{2\lambda_k}{e^{2\lambda_k T}-1}q_k^0 \quad t\in[0,T), \qquad q_k(T)=0.$ Для выбора a_k можно полагать

$$a_k=\frac{2\lambda_k e^{\lambda_k T}}{e^{2\lambda_k T}-1}\left|q_k^0\right| \tag{20}$$

и проверить неравенство $\sum a_k \Phi_k \le w^0.$

Результат можно оформить в виде теоремы, которая гласить: управление вида $v_k(t)$ вида (18) или (19) обеспечивает стабилизацию движения на конечном отрезке времени уравнения (10) при ограничениях (16) и минимизирует функционал (17) при выполнения условия $\sum a_k \Phi_k \le w^0$, где a_k определяется выражением (20).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бияров Т.Н. Устойчивость движения при постоянно действующих возмущениях, Алматы, 1989

2. Черноусько Ф.Л. Ограниченные управления в системах с распределенными параметрами // ППМ 1992. Т.56. вып.5.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

[1]Битиманова С.С., [2]Абдилдаева А.А., [1]Шукирова А.К.

abass_81@mail.ru, aliya.shukirova@mail.ru, 87057685414@mail.ru
[1] Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Казахстан
[2] Институт информационных и вычислительных технологий, Казахстан

Аннотация. *Проведен обзор современных оптимизационных модельев и методов решения двух фундаментальных задач принятия решений в работе электроэнергетических систем-задачи оптимального расхода электроэнергии и задачи обеспечения энергоблока. В статье рассматриваются некоторые из последних исследований для решения задачи оптимального расхода электроэнергии, адаптивные робастные оптимизационные модели для задачи обеспечения энергоблоков в условиях неопределенности.*

Ключевые слова: *электроэнергетические системы, методы оптимизации, оптимальный поток мощности, оптимизация, модель переменного тока, модель постоянного тока, детерминическая модель, адаптативная устойчивая модель.*

1 Введение

Не будет преувеличением сказать, что современные электроэнергетические системы построены на оптимизационных моделях и методиках. От долгосрочного планирования мощности генерации и передачи до среднесрочного планирования технического обслуживания и краткосрочной ежедневной и почасовой эксплуатации, модели и методы оптимизации являются важнейшими инструментами для принятия решений при эксплуатации энергосистем.

Электроэнергетические системы, признаны «высшим инженерным достижением XX века», являются одной из самых сложных систем созданной человечеством. Производство электрической энергии в Казахстане осуществляют 138 электрических станций. По состоянию на 01.01.2019 г. общая установленная мощность электростанций Казахстана составляет 21 901.9 МВт, располагаемая мощность — 18 894,9 МВт. [1]. В инженерной системе такого масштаба и сложности, неопределенность имеются в большом количестве. Более конкретно, неопределенности в производстве, потреблении и неожиданные отказы электрооборудования должны быть тщательно рассмотрены при эксплуатации энергосистем. Это удивительный факт, что надежность и безопасность электроснабжения поддерживаются на столь высоком уровне, что включение переключателя и ожидание того, что лампочки будут светить в любое время, почти стали частью подсознания современного общества. Это большое достижение, ставшее возможным благодаря продуманному инженерному замыслу и огромным усилиям, прилагаемым электроэнергетической промышленностью.

Однако поддержание такого высокого уровня надежности становится все более сложной задачей, поскольку энергетические системы во всем мире испытывают быстрые и фундаментальные изменения. Ключевой движущей силой этого изменения является широкомасштабная интеграция ветровой и солнечной

энергетики в энергосистемы, обе из которых являются сильно прерывистыми, коррелированными во времени и пространстве и стохастическими по своей природе [2]. Очень важно отметить, что технологии smart grid позволяют потребителям электроэнергии изменять свое потребление в режиме реального времени [3]. Все эти изменения имеют значительные последствия для энергетических систем на различных уровнях.

На рис.1 представлена картина основных проблем принятия решений, связанных с эксплуатацией энергосистем. Проблемы подразделяются с временной точки зрения на операции в режиме реального времени (поминутная отправка), ежедневное планирование (обязательство на день вперед), среднесрочное планирование технического обслуживания (сезонные или годовые графики) и долгосрочное инвестиционное планирование для систем генерации и передачи.

Оптимизация в значительной степени зависит от достижения последовательных, эффективных и оптимальных результатов. Не будет преувеличением сказать, что современные энергосистемы построены на строгих и обоснованных оптимизационных моделях и эффективных алгоритмах решения.

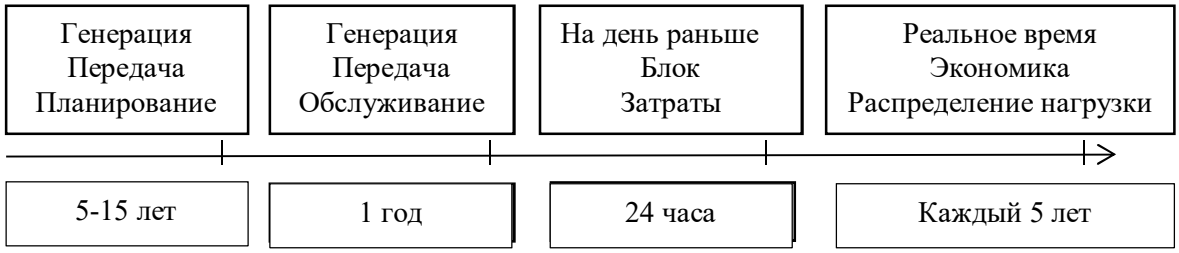


Рис. 1 Основные проблемы принятия решений в работе энергосистем. Стрелка времени указывает на начало операции в реальном времени. Типичный горизонт решения проблемы дан для каждой проблемы [4]

Вышеуказанные проблемы принятия решений решаются с помощью моделей детерминированной оптимизации [5]. То есть модели оптимизации рассматривают проблему фиксированных и известных параметров. Полученные решения являются выполнимыми и оптимальными для запланированного или прогнозного сценария. Такой детерминистический подход был успешным в поддержании надежности и безопасности энергосистем в традиционных условиях. Однако, поскольку неопределенности в энергосистемах умножаются из-за растущего распространения возобновляемых ресурсов, традиционные подходы становятся неадекватными для многоуровневых проблем принятия решений. Промышленность активно ищет новые подходы, чтобы справиться с растущей неопределенностью.

В этой статье рассматриваются модели оптимизации и последние достижения в моделировании и способах решения для двух фундаментальных проблем принятия решений в работе электроэнергетической системы, проблемы оптимального потока мощности и проблемы удельных обязательств. Внедрена адаптивная устойчивая модель оптимизации и методы решения проблемы удельных обязательств, которые

обеспечивают новую эффективную основу для работы энергосистемы в условиях неопределенности.

В заключение, центральную роль в работе энергосистемы играют современные методы оптимизации. Для решения новых задач, возникающих в быстро развивающихся современных энергосистемах, необходимы дальнейшие исследования.

2 Задача оптимального потока мощности

Системный оператор управляет диспетчеризацией установленных блоков генерации для удовлетворения изменяющегося спроса в почасовых или меньших временных интервалах. Физика, описанная законами напряжения и тока Кирхофа, диктует взаимосвязь между узловыми напряжениями и потоками питания на линиях передачи. В частности, это соотношение может быть смоделировано набором квадратичных уравнений [6]. Так называемой моделью переменного тока. Из-за нелинейности и особенно невыпуклости модели оптимального расхода мощности переменного тока, решение масштабных проблем оптимального расхода мощности переменного тока является вычислительно сложным. На практике широко используется линеаризованная модель, обычно называемая моделью постоянного тока. Линеаризованная модель, обычно называемая моделью постоянного тока, широко используется на практике. В дальнейшем мы представим обе модели.

2.1 Модель переменного тока оптимального потока мощности

Пусть *N* обозначает количестов узлов в энергеосистеме.*D* количество спроса узлов, *L*-множество ответвлений (например, линий электропередачи) в энергосистеме. В модели узловое напряжение V_i может быть смоделировано как комплексное число в прямоугольных координатах

$$V_i = e_i + jf_i, \forall i \in N,$$

где j-мнимая единица. Чистая активная мощность P_i и реактивная мощность Q_i вносимые в напряжение $i \in N$, задаются формулой

$$P_i(\mathbf{e}, \mathbf{f}) = \sum_{j \in N} \Big(e_i\big(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\big) + f_i\big(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\big) \Big),$$

$$Q_i(\mathbf{e}, \mathbf{f}) = \sum_{j \in N} \Big(f_i\big(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\big) - e_i\big(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\big) \Big),$$

где, $\mathbf{e} \in R^{|N|}$ и $\mathbf{f} \in R^{|N|}$ векторы с компонентами напряжения, G_{ij} – ij-й вход электропроводимости узлов матрицы $\mathbf{G} \in R^{|N|\times|N|}$, B_{ij} это *ij-я* восприимчивость узлов матрицы $\mathbf{B} \in R^{|N|\times|N|}$. Активная мощность P_{ij} потока от блока i к блоку j вычисляется таким образом:

$$P_{ij}(\mathbf{e},\mathbf{f}) = (e_i^2 + f_i^2)\tilde{G}_{ii} + \left(e_i e_j + f_i f_j\right)\tilde{G}_{ij} - (e_i f_j + e_j f_i)\tilde{B}_{ij},$$

где, $\tilde{G}_{ii}$ – электропроводность входа ответвления в блоке i, $\tilde{G}_{ij}$- взаимная проводимость (величина, равная отношению выходного электрического тока к входному электрическому напряжению), B_{ij} - взаимная восприимчивость входа ветвей от блока i до j.

Модель оптимального потока мощности переменного тока, которая минимизирует общую стоимость производства, может быть записана как

$$\min_{\boldsymbol{e},\boldsymbol{f},\boldsymbol{p}^g,\boldsymbol{q}^g} c(\boldsymbol{p}^g) = \sum_{i\in G}(c_{i0}(p_i^g)^2 + c_{i1}p_i^g + c_{i2}) \tag{1}$$

$$\sum_{j\in N}\left(e_i\left(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\right) + f_i\left(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\right)\right) = p_i^g - p_i^d, \forall i \in N \tag{2}$$

$$\sum_{j\in N}\left(f_i\left(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j\right) - e_i\left(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j\right)\right) = q_i^g - q_i^d, \forall i \in N \tag{3}$$

$$(e_i^2 + f_i^2)\tilde{G}_{ii} + \left(e_i e_j + f_i f_j\right)\tilde{G}_{ij} - \left(e_i f_j + e_j f_i\right)\tilde{B}_{ij} \le p_{ij}^{max}, \forall (i.j) \in I \tag{4}$$

$$p_i^{min} \le p_i^g \le p_i^{max}, \forall i \in G, \tag{5}$$

$$q_i^{min} \le q_i^g \le q_i^{max}, \forall i \in G, \tag{6}$$

$$(v_i^{min})^2 \le e_i^2 + f_i^2 \le v_i^{max})^2, , \forall i \in N \tag{7}$$

где, p_i^g и q_i^g активная и реактивная мощности генераторных установок в блоке i, p_i^d и q_i^d требуемые активные и реактивные мощности блока i, p_i^{min}, q_i^{min}, v_i^{min} и $p_i^{max}, q_i^{max}, v_i^{max}$- нижние и верхние границы на выходе генерации и узловые пределы напряжения, p_{ij}^{max} предел расхода ветви, а себестоимость продукции моделируется как квадратичная функция активной мощности выходов. Для различных эксплуатационных и плановых требований могут быть рассмотрены другие целевые функции, такие как потери при передаче и выходная реактивная мощность, а также другие функции.

Узловое комплексное напряжение также может быть описано в полярном представлении $V_i = |V_i|\exp(j\theta_i)$, где $|V_i|$ и θ_i значение и угол напряжения V_i. Используя это представление, уравнения потока мощности (2) и (3) можно заменить следующими уравнениями

$$\sum_{j\in N}\left(|V_i||V_j|\left(G_{ij}\cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij}\sin(\theta_i - \theta_j)\right)\right) = p_i^g - p_i^d, i \in N \tag{8}$$

$$\sum_{j\in N}\left(|V_i||V_j|\left(G_{ij}\sin(\theta_i-\theta_j)-B_{ij}\cos(\theta_i-\theta_j)\right)\right)=q_i^g-q_i^d, i\in N \quad (9)$$

2.2 Модель постоянного тока оптимального потока мощности

Модель оптимального потока мощности переменного тока включает квадратичные или тригонометрические ограничения. В качестве аппроксимации к модели переменного тока линеаризованная модель постоянного тока широко использовалась на практике. Модель постоянного тока получают из полярного представления потоков (8) и (9) мощности следующим образом. Во-первых, поскольку сопротивление линии обычно очень мало, можно предположить, что $G_{ij}=0$. Во-вторых, при условиях нормального функционирования, угловое различие в напряжении между смежными узлами небольшое, т.е. $(\theta_i-\theta_j)\approx 0$, Исходя из этого, $\sin(\theta_i-\theta_j)\approx(\theta_i-\theta_j)$ и $\cos(\theta_i-\theta_j)\approx 1$. В-третьих, используя систему на единицу [7], величины узловых напряжений близки к единице 1.0, так же как и их производные. Объединение трех приближений, модель оптимального потока мощности постоянного тока можно записать в виде:

$$\min_{\boldsymbol{p}^g,\theta}\sum_{i\in G}(c_{i2}(p_i^g)^2+c_{i1}p_i^g+c_{i0})$$

$$\sum_{j\in N}B_{ij}(\theta_i-\theta_j)=p_i^g-p_i^d, \forall i\in N$$

$$B_{ij}(\theta_i-\theta_j)\le p_{ij}^{max}, \forall(i,j)\in N$$

$$p_i^{min}\le p_i^g\le p_i^{max}, i\in G$$

Обратите внимание, что из-за приближения модель постоянного тока не содержит реактивной мощности и величины напряжения.

3 Детерминированное обязательство безопасности с ограниченными возможностями

В централизованной системе управления оператор системы имеет доступ к широкому спектру подробных экономических и эксплуатационных данных, включая производственные затраты и физические ограничения блоков генерации, прогноз загрузки системы, требования к резерву системы и параметры сети. На основе этих данных оператору системы необходимо определить график выполнения обязательств по единицам генерации на ближайшие 24 часов или более длительный период времени, в соответствии с которым прогнозируемая потребность может быть удовлетворена с наименьшими общими затратами на выполнение обязательств и отгрузку, и, что очень важно, удовлетворяются ограничения безопасности, вызванные критерием N-1. Поэтому модель удельных обязательств, используемая в

текущей практике, является детерминированной моделью планирования со многими усложняющими ограничениями.

Типичная детерминистическая модель с ограничениями безопасности передачи представлена ниже [7].

$$\min_{x,u,v,p} \quad \sum_{t\in T}\sum_{i\in E}\left(f_i^t(x_i^t,u_i^t,v_i^t) + c_i^t(p_i^t)\right) \tag{10}$$

$$x_i^{t-1} - x_i^t + u_i^t \geq 0,\ \forall_i \in E, t \in T, \tag{11}$$

$$x_i^t - x_i^{t-1} + v_i^t \geq 0,\ \forall_i \in E, t \in T, \tag{12}$$

$$x_i^t - x_i^{t-1} \leq x_i^\tau, \qquad \forall_i \in [t+1, \min\{t + MinP_i - 1, T\}],$$
$$t \in [2,T], i = E \tag{13}$$

$$x_i^{t-1} - x_i^t \leq 1 - x_i^\tau, \qquad \forall_i \in [t+1, \min\{t + MinDw_i - 1, T\}],$$
$$t \in [2,T], i = E \tag{14}$$

$$\textstyle\sum_{i=E} p_i^t = \sum_{j=D} \overline{d}_j^t,\ \ \forall_t \in T, \tag{15}$$

$$p_i^t - p_i^{t-1} \leq RU_i x_i^{t-1} + SU_i u_i^t\ ,\ \forall_i \in E, t \in T, \tag{16}$$

$$p_i^{t-1} - p_i^t \leq RD_i x_i^t + SD v_i^t\ ,\ \forall_i \in E, t \in T, \tag{17}$$

$$-f_{l,k}^{max} \leq a_{l,k}^T (p^t - d^t) \leq f_{l,k}^{max},\ \ \forall_i \in E, l \in b_k, k \in I, \tag{18}$$

$$p_i^{min} x_i^t \leq p_i^t \leq p_i^{max} x_i^t, \forall_i \in E, t \in T, \tag{19}$$

$$x_i^t, u_i^t, v_i^t \in \{0,1\}, \forall_i \in E, t \in T, \tag{20}$$

Решением данной задачи являются двоичные переменные x_i^t, u_i^t, v_i^t, где $x_i^t = 1$ если генератор *i* включен в момент времени *t* иначе $x_i^t = 0$; $u_i^t = 1$ если генератор *i* включен из выключенного состояния в момент времени *t*; $v_i^t = 1$ если генератор *i* выключен в момент времени *t*. p_i^t это решение отправки генератора $i = E$ в момент времени $t \in T$, где E количество генераторов, T количество временных периодов в решении горизонта.

Постоянные расходы - $f_i^t(x_i^t, u_i^t, v_i^t)$, переменные расходы - $c_i^t(p_i^t)$, активная выходная мощность - p_i^t , прогнозируемый спрос - $\overline{d}_j^t$, узел нагрузки - j, время – t; Ограничения (11) и (12) представляют логические отношения между состоянием включения и выключения и действиями включения и выключения.

Ограничения (13) и (14) ограничивают минимальное время увеличения и уменьшения для каждого генератора. Ограничение (15) обеспечивает

общесистемный энергетический баланс в каждом временном периоде. Ограничения (16) - (17) ограничивают скорость производственных изменений в течение одного периода,, где RU_i и RD_i - это пределы для скоростей нарастания и замедления, когда генератор уже работает, а SU_i и SD_i - это пределы нарастания и замедления, когда генератор i только запускается и выключается. Ограничение (18) выражает поток мощности в линиях передачи как линейную функцию выработки мощности и нагрузки во всей системе, где коэффициенты линейной функции, $a_{l,k}$ называются коэффициентами сдвига линии l, а индекс k представляет собой k-ю случайность, т.е. когда линия k выключена в автономном режиме, b_k является набором оставшихся линий. Ограничение (19) представляет физические пределы производственных уровней каждого генератора.

Важным аспектом, который не представлен в (10), является резерв системы и связанные с ним ограничения [8]. Надежность электроснабжения настолько критична для функции современного общества, что системные операторы уделяют крайне пристальное внимание обеспечению.

Система обладает достаточной генерирующей мощностью. Отраслевая практика заключается в использовании так называемых резервов, ресурсов генерации, которые находятся в режиме онлайн или могут быть быстро переведены в режим онлайн для реагирования на любой всплеск спроса или простои генерации. Потребность в общесистемном резерве обычно определяется определенными правилами, такими как процент от прогнозируемой пиковой нагрузки плюс наибольшая мощность генератора в режиме онлайн. Затем уровни резервирования отдельных генераторов оптимизируются совместно с решениями и диспетчеризации [9]. Короче говоря, резерв - это инженерный способ справиться с неопределенностями. Далее мы представим надежные модели, основанные на оптимизации, которые в определенном смысле тщательно определяют неопределенности и заменяют или уменьшают потребность в резерве.

3.1 Адаптивная устойчивая модель с неопределенной сетевой нагрузкой

К основным источникам неопределенности, относятся неопределенность в отношении спроса, неопределенность в отношении возобновляемых источников энергии и неожиданные отказы линий электропередачи и генераторов. В данном подразделе мы сначала представляем фундаментальную надежную оптимизационную модель, учитывающую неопределенность чистой нагрузки, где чистая нагрузка - спрос минус возобновляемая генерация.

Тогда мы представим несколько обобщений. Рассмотрим следующую устойчивую модель [10]:

$$\min_{x}\left\{c\,(x)+\max_{d\in D}\min_{p\in\Omega(x,d)} b(p)\right\}, \tag{21}$$

$$x\in F,$$

где x - вектор связанных с обязательством решений, p - вектор диспетчерских переменных, и d - вектор чистой нагрузки в сети; D - набор, который описывает

область возможной сетевой нагрузки; $\Omega\,(x,d)$ - допустимая область задачи диспетчеризации, определяемая в уравнениями (15) - (19). Сокращенно, мы можем записать: $\Omega\,(x,d)=\{p: Hp+Ed\le b, Ax+Bp\le g\}$ где первое линейное неравенство представляет ограничения (15) и (18), включающие диспетчеризацию p требования d, а второе линейное неравенство представляет ограничения (16), (17) и (19). Набор F является возможным регионом решений об обязательствах x, который определен в (11) - (14).

Уравнение (21) является двухэтапной полностью адаптивной робастной оптимизационной моделью. Решение об обязательстве x является решением первого этапа, принятым до реализации неопределенной сетевой нагрузки d, тогда как решение об отправке p является решением второго этапа, принятым для реагирования на каждую конкретную реализацию d. То есть решение $p\,(b)$ диспетчеризации как функция b полностью адаптируется к любому b. Уравнение (21) представляет собой решение об удельном обязательстве x, которое является возможным, следовательно, надежным для любой возможной реализации неопределенной чистой нагрузки d.

Набор неопределенности D описывает диапазоны возможной сетевой нагрузки d. Мы также можем установить некоторые ограничения на общие вариации неопределенности в D и использовать его для контроля консервативности робастной модели. В литературе широко используется следующий так называемый бюджетный набор неопределенностей. Для каждого времени t:

$$D^t\left(\bar{d}^t,\hat{d}^t,\triangle^t\right):=\left\{d^t:\sum_{i\in N_d}\frac{|d_i^t|-\bar{d}_i^t}{\hat{d}_i^t}\le\triangle^t, d_i^t\in\left[\bar{d}^t-\hat{d}^t,\bar{d}^t+\hat{d}^t\right],\forall_i\right\} \qquad (22)$$

где N_d-набор узлов, которые имеют неопределенную сетевую нагрузку, $d^t=(d_i^t, i\in N_d)$-вектор неопределенной сетевой нагрузки в момент времени t , $\bar{d}_i^t$ - номинальное значение сетевой нагрузки узла i в момент времени t, $\hat{d}_i^t$-номинальное значение сетевой нагрузки узла i в момент времени t, а интервал $\left[\bar{d}^t-\hat{d}^t,\bar{d}^t+\hat{d}^t\right]$ это диапазон неопределенного d_i^t. Неравенство в (22) регулирует отклонение общей сетевой нагрузки от номинального значения. Параметр $\triangle^t$ является "резервом неопределенности". При $\triangle^t$ = 0, набор неопределенностей $D^t=\{\bar{d}^t\}$ является одноэлементным, что соответствует номинальному детерминированному случаю. При увеличении $\triangle^t$ размер набора неопределенности D^t увеличивается. Это означает, что учитывается максимальное отклонение от ожидаемой сетевой нагрузки, так что полученные надежные решения являются более консервативными, а система защищена от более высокой степени неопределенности. При $\triangle^t= N_d$, где N_d-общее число неопределенных сетевых нагрузок, D^t равно всему гиперкубу (один из способов соединения процессоров в многопроцессорной системе), определяемому интервалами для каждого d_i^t.

Неопределенность, заданная в (22), определяется независимо для каждого периода времени. Резервное ограничение на протяжении всех периодов времени также может быть добавлено, чтобы ограничить изменение сетевых нагрузок по всему горизонту планирования. Основная структура резервных наборов

неопределенности остается прежней. В последующую мы введем другой тип наборов неопределенностей, которые моделируют динамику параметров неопределенности между периодами времени и местоположениями.

3.2 Метод решения адаптивной устойчивой модели

Двухэтапная адаптивная оптимизационная модель (21) является общей и фундаментальной моделью. Сложность решения такой модели исходит из двух источников. Один из них-от дискретного характера решения x первой стадии, другой - от структуры max-min на втором этапе. Последнее является более фундаментальным в том смысле, что даже если решение первого этапа является непрерывным с выпуклой областью F, проблема второго этапа все еще может быть вычислительно сложной. Чтобы увидеть это, мы можем переформулировать задачу второго этапа $max - min$ сильной двойственностью линейной оптимизации, предполагая линейные функции:

$$\max_{d\in D} \min_{p} \{b^{\intercal}p : Hp + Ed \le b, Ax + Bp \le g\}$$

$$= \max_{d,\mu,\eta} d^{\intercal}E^{\intercal}\mu - b^{\intercal}\mu - (g - Ax)^{\intercal}\eta \quad (23)$$

$$H^{\intercal}\mu + B^{\intercal}\eta = b, \mu, \eta \ge 0 \quad (24)$$

$$d \in D \quad (25)$$

В целом, этот тип задачи билинейной оптимизации является трудным для решения, что указывает на то, что задача второго этапа (21) является вычислительно сложной, независимой от задачи первого этапа.

Однако интересно отметить, что оптимальное объективное значение задачи *maxmin* (23), обозначаемой как $R\ (x)$, является выпуклой функцией решения первой стадии *x*.

Это говорит о том, что по модулю сложности задачи второго этапа общая двухэтапная задача (21) может быть разумно разрешима алгоритмом типа разложения Бендерса, который разработан в [11].

Другим ключевым свойством проблемы второй стадии является то, что чистая нагрузка в худшем случае всегда является крайней точкой множества неопределенности D. Это следует из хорошо известного свойства билинейных задач оптимизации с отдельными наборами многогранников [12]. С этим наблюдением двухэтапная робастная модель (2) может быть переписана как

$$\min_{x\in F,z,p} c(x) + z \quad (26)$$

$$z \ge b^{\intercal}p_k \qquad \forall_k = 1, \dots, m$$

$$p_k \in \Omega(x, d_k) \qquad \forall_k = 1, \dots, m$$

где $(d_1, \dots d_m)$ - количество крайних точек многогранника D. Число крайних точек может быть экспоненциальным в измерении D, что является случаем резервной неопределенности .

Это представляет собой идеальную ситуацию для применения генерации ограничений к (26). Поскольку новые переменные p_k также генерируются с новыми ограничениями, такой алгоритм формально предлагается в [13] с именем, columnand-constraint generation (см. Также [14]). Аналогичная процедура также предлагается в [6] в качестве эвристики для ускорения разложения Бендеров, где крайние точки D наихудшего случая вместе с соответствующими ограничениями диспетчеризации добавляются к задаче первого этапа на каждой итерации алгоритма Бендеров.

Выводы. В ходе проведения аналитического обзора рассматрены основные оптимизационные модели и последние исследования в области моделирования и методов решения для двух фундаментальных задач принятия решений в работе электроэнергетических систем. Выявлены направления для исследования: задачи оптимального расхода электроэнергии и задачи обеспечения работоспособности энергоблоков. Также сделан анализ непредвиденных обстоятельств для крупномасштабных энергосистем, а также распределенные схемы оптимизации для децентрализованного управления энергосистемами. В заключение отметим, что современные методы оптимизации играют центральную роль в функционировании энергосистем. Необходимы дальнейшие исследования для решения новых задач, возникающих в быстро развивающихся современных энергетических системах.

Литература

1. Официальный сайт АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями» (Kazakhstan Electricity Grid Operating Company) «KEGOC». Режим доступа: https://www.kegoc.kz

2. The future of the electric grid: An interdisciplinary mit study, (2011). (Cited on p. 1)

3. Q. Li, D. W. Gao, H. Zhang, Z. Wu, and F. Y. Wang, “Consensus-based distributed economic dispatch control method in power systems,” Accepted by IEEE Transactions on Smart Grid, 2017

4. Kim, B.H., Baldick, R.: A comparison of distributed optimal power flow algorithms.IEEE Trans. Power Syst. 15(2), 599–604 (2000)

5. Marano-Marcolini, A., Capitanescu, F., Martinez-Ramos, J., Wehenkel, L.: Exploiting the use of dc scopf approximation to improve iterative ac scopf algorithms. IEEE Trans. Power Syst. 27(3), 1459 –1466 (2012)

6. E. Dall’Anese, H. Zhu, and G. B. Giannakis, “Distributed optimal power flow for smart microgrids.” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 3, pp. 1464–1475, 2013.

7. J. D. Lyon, K. W. Hedman, and M. Zhang, “Reserve requirements to efficiently manage intra-zonal congestion,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 29, no. 1, pp. 251– 258, Jan. 2014.

8. Y. Fu, M. Shahidehpour, and Z. Li, "Long-term security constrained unit commitment: Hybrid Dantzig-Wolfe decomposition and subgradient approach," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, pp. 2093–2106, Nov. 2005

9. R. BILLINTON AND M. FOTUHI-FIRUZABAD, A reliability framework for generating unit commitment, Electric Power System Research, 56 (2000), pp. 81–88. (Cited on p. 5)

10. D. BERTSIMAS, E. LITVINOV, X. A. SUN, J. ZHAO, AND T. ZHENG, Adaptive robust optimization for the security constrained unit commitment problem, IEEE Transactions on Power Systems, 28 (2013), pp. 52–63. (Cited on pp. 2, 3, 5, 7, 8, 9)

11. R. JIANG, M. ZHANG, G. LI, AND Y. GUAN, Two-stage network constrained robust unit commitment problem, European Journal of Operational Research, 234 (2014), pp. 751–762. (Cited on pp. 3, 5, 7, 8)

12. Y. Zhang, J. Wang, B. Zeng, and Z. Hu. Chance-constrained two-stage unit commitment under uncertain load and wind power output using bilinear benders decomposition. IEEE Transactions on Power Systems, 32(5):3637–3647, 2017.

13. B. ZENG AND L. ZHAO, Solving two-stage robust optimization problems using a column-and-constraint generation method, Operations Research Letters, 41 (2013), pp. 457–461. (Cited on p. 8)

14. Q. WANG, J. P. WATSON, AND Y. GUAN, Two-stage robust optimization for n - k contingency-constrained unit commitment, IEEE Transactions on Power Systems, 28 (2013), pp. 2366–2375. (Cited on pp. 8, 9)

КОЛЛЕКТИВНЫЕ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МНОЖЕСТВ ФОРМУЛ *N*-ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

[1,2]Викентьев А.А., [1]Серов М.С., [1,2]Бериков В.Б.,
[3,4]Черикбаева Л.Ш., [5]Тулегенова Б.А.
e-mail: berikov@math.nsc.ru, vikent@math.nsc.ru, mikhailserov3@gmail.com, lyailya_sh@mail.ru, tulegenova_bakhit@mail.ru
[1]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан
[4]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан
[5]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Казахстан

Аннотация. *Рассматривается задача анализа логических экспертных высказываний, возникающая на стыке искусственного интеллекта, машинного обучения и математической логики. В рамках логической модели представления знаний, содержащиеся в базе знаний интеллектуальной системы предложения описываются с помощью формул некоторой логики. В работе проводится*

исследование свойств метрик и мер нетривиальности на формулах n-значной логики, предлагается понятие коллективной метрики. Введённые понятия используются для кластерного анализа логических высказываний; описываются примеры полученных решений.

Ключевые слова: *расстояние на формулах, n-значная логика, коллективные метрики, меры нетривиальности, кластерный анализ*

Введение. В настоящее время достаточно хорошо развиты теория и методы машинного обучения на основе эмпирических данных [1]. Наряду с анализом данных, существует потребность в анализе знаний экспертов, накопленных в базах знаний интеллектуальных систем. Это необходимо для структурирования базы знаний, ускорения поиска знаний, наиболее подходящих конкретной решаемой задаче. Упорядочение знаний по степени близости дает возможность ранжировать их источники (экспертов, интернет-пользователей и т.д.) по похожести. В качестве примеров приложений разрабатываемых методов можно привести медицинские экспертные системы, рекомендательные системы по поиску телефильмов, выбору туристических маршрутов.

Следуя логической модели представления знаний, имеющиеся знания отображаются совокупностью формул – логических высказываний в некоторой логике.

Имеется большое число работ, в которых решается задача формирования логических продукционных правил, описывающих закономерности, полученные из даных. Однако обработка информации, имеющей вид набора логических высказываний – сравнительно недавно начавшее развиваться направление (см., например, [2]).

Задача определения меры близости между логическими высказываниями была поставлена в работах [3,4]. Теоретико-модельный подход к определению расстояний между логическими формулами *n*-значной логики Лукасевича был впервые предложен и развит в работах [5-7]. Привлечение многозначной логики позволило учитывать возможную неопределенность знаний, неполную уверенность эксперта. Использование логических значений истинности на моделях при введении расстояний было предложено в работе [8] и в дальнейшем обобщено на общий конечный случай логики Лукасевича [9].

В работе [10] были введены меры недостоверности и расстояния, а также сформулированы принципы кластеризации формул, применяемые для их компьютерного анализа. Остался открытым вопрос о других возможностях задания таких расстояний. Этому вопросу, введению мер нетривиальности и их применению для кластеризации множеств формул и посвящена данная работа.

В работе рассматриваются экспертные знания, представленные в виде логических высказываний - формул логики Лукасевича. Очевидно, что высказывания могут различаться по их информативности, которая отражает важность сообщенной экспертом информации. Возникает вопрос о ранжировании высказываний экспертов и сравнении их по информативности. Понятно, что информативность высказывания должна зависить от информативности его компонент и степени различия содержащейся в них информации. Необходимо

ввести такую метрику на логических высказываниях, которая будет служить мерой различия содержащейся в высказываниях информации. Тем самым задача введения меры информативности на логических формулах и их кластеризации предполагает рассмотрение вопроса определения расстояния на этом множестве [4].

При решении указанных задач используется коллективный (ансамблевый) подход в кластерном анализе, развиваемый в работах [11-13]. Привлечение ансамбля позволяет повысить устойчивость результатов анализа в случае неопределенности в структуре информации. Такая неопределенность возникает, например, когда неизвестно истинное число кластеров или могут существовать малоинформативные экспертные высказывания, сложные кластерные структуры.

Статья имеет следующий план. В разделе 2 вводятся основные определения и обозначения. В разделе 3 описываются вводимые расстояния и меры нетривиальности логических формул. Раздел 4 посвящен введению коллективных расстояний между формулами. В разлеле 5 описаны примеры кластеризации логических формул. В заключении делаются основные выводы работы обсуждаются дальнейшие планы.

Основные понятия и обозначения. В этом разделе мы рассмотрим n-значную логику L_n, а также некоторые теоретико-модельные свойства, необходимые в дальнейшем.

Определение 1. Пропозициональный язык L состоит из следующих пропозициональных символов:

1. $x,\ y\ ,\ z$, ... - пропозициональные переменные;

2. $\neg\ ,\ \rightarrow$ - пропозициональные связки (отрицание и импликация);

3. (,) - вспомогательные символы.

Определение 2. Будем понимать под формулами следующие последовательности пропозициональных символов:

1. $x,\ y\ ,\ z$, ... - формулы;

2. если φ и ψ - формулы, то $\neg\varphi$, $\varphi\rightarrow\psi$ - тоже формулы;

3. никакие другие последовательности из исходных символов, кроме построенных в силу пунктов 1-2, формулами не являются.

Теперь мы можем построить *n*-значную логику L_n.

Определение 3. *n*-значная матричная логика L_n определяется через следующие понятия:

$M_n = \langle V_n, \neg, \rightarrow, \{1\}\rangle$ - логическая матрица;

$V_n = \left\{0, \frac{1}{n-1}, ..., \frac{n-2}{n-1}, 1\right\}$ - множество значений истинности;

$\neg: V_n \rightarrow V_n$, - операция отрицания;

$\rightarrow: V_n \times V_n \rightarrow V_n$ - операция импликации;

$\{1\}$ - выделенное значение истины.

Рассмотрим логические операции в n-значной логике L_n.

Определение 4. Логические операции на V_n задаются следующим образом:

$\neg x = 1 - x$ - отрицание;

$x \to y = min\{1, 1 - x + y\}$ - импликация;

$x \vee y = (x \to y) \to y = max\{x, y\}$ - дизъюнкция;

$x \wedge y = \neg(\neg x \vee \neg y) = min\{x, y\}$ - конъюнкция.

Сформулируем теоретико-модельные обозначения, которые будут использоваться в дальнейшем.

Определение 5. $S(\varphi)$ - носитель формулы φ из L_n (множество переменных, используемых при ее написании);

Через $S(\Sigma) = \cup_{\varphi \in \Sigma} S(\varphi)$ обозначим носитель множества Σ.

Определение 6. Модель M - кортеж из означенных переменных с определением истинности формул на нем согласно логике Лукасевича.

Пусть $P(S(\Sigma))$ - множество всех моделей. Будем использовать обозначение $\varphi_{\frac{k}{n-1}}$, когда φ принимает на модели значение $\frac{k}{n-1}$, $k = 0, \ldots, n-1$. Пусть $M\left(\frac{k}{n-1}\right)$ - количество моделей, на которых φ принимает значение $\frac{k}{n-1}$, $M(\frac{k}{n-1}, \frac{l}{n-1})$ - количество моделей, на которых φ принимает значение $\frac{k}{n-1}$, а ψ принимает значение $\frac{l}{n-1}$.

Расстояние и мера нетривиальности логических формул

Для определения расстояния мы учитываем разницу между значениями двух формул на каждой модели. Чем меньше модуль разности между значениями формул φ и ψ, тем они более близки в данной модели. Объединим модели с одинаковыми модулями разности между значениями φ и ψ и возьмем их с некоторым весом, учитывающим близость. Получим следующую формулу:

$$\rho_0(\varphi,\psi) = \lambda_0\left(M(0,0) + M(\frac{1}{n-1},\frac{1}{n-1}) + \ldots + M(\frac{n-2}{n-1},\frac{n-2}{n-1}) + M(1,1)\right) +$$
$$+\lambda_1\left(M(0,\frac{1}{n-1}) + M(\frac{1}{n-1},0) + \ldots + M(\frac{n-2}{n-1},1) + M(1,\frac{n-2}{n-1})\right) +$$
$$\ldots$$
$$+\lambda_{n-2}\left(M(0,\frac{n-2}{n-1}) + M(\frac{n-2}{n-1},0) + M(\frac{1}{n-1},1) + M(1,\frac{1}{n-1})\right) +$$

$$+\lambda_{n-1}(M(0,1)+M(1,0)).$$

Очевидно, что модели, на которых значения формул совпадают, рассматривать не нужно, поэтому полагаем $\lambda_0 = 0$. Модели, на которых формула φ принимает значение 0, а формула ψ принимает значение 1 (и наоборот) берем с весом $\lambda_{n-1} = 1$. Полагаем, что чем меньше модуль разности между значениями формул φ и ψ на модели, тем они ближе на данной модели, значит, их нужно брать с меньшим весом, поэтому $\lambda_i \le \lambda_{i+1}$ для $i = 0,..,n-1$.

Остается нормировать величину ρ_0.

Определение 7. Растоянием между формулами φ и ψ n-значной логики L_n при $S(\varphi) \cup S(\psi) \subseteq S(\Sigma)$ на множестве $P(S(\Sigma))$ назовём величину

$$\rho(\varphi,\psi) = \frac{1}{n^{|S(\Sigma)|}} \cdot \sum_{k=0}^{n-1}\sum_{l=0}^{n-1} \lambda_{|k-l|} \cdot M(\frac{k}{n-1}, \frac{l}{n-1}),$$

где λ_i удовлетворяют условиям:

$$0 = \lambda_0 \leqslant \lambda_i \leqslant \lambda_{n-1} = 1;$$

$$\lambda_i \le \lambda_{i+1},\ i = 0,...,n-1;$$

$$\lambda_i + \lambda_{n-1-i} = 1 \quad \forall i = 0,...,\frac{n-1}{2}.$$

Установим свойства модельного расстояния ρ.

Теорема 1. Любые формулы φ,ψ,χ из Σ удовлетворяют следующим свойствам:

1. $0 \leqslant \rho(\varphi,\psi) \leqslant 1$;
2. $\rho(\varphi,\psi) = 0 \Leftrightarrow \varphi \equiv \psi$;
3. $\rho(\varphi,\psi) = \rho(\psi,\varphi)$;
4. $\rho(\varphi,\psi) \leqslant \rho(\varphi,\chi) + \rho(\chi,\psi)$;
5. $\varphi \equiv \varphi_1, \psi \equiv \psi_1 \Rightarrow \rho(\varphi,\psi) = \rho(\varphi_1,\psi_1)$;
6. $\rho(\varphi,\psi) = \rho(\neg\varphi,\neg\psi)$;
7. $\rho((\varphi \wedge \psi),(\varphi \vee \psi)) = \rho(\varphi,\psi)$.

Доказательство пунктов Теоремы 1 изложено в работах [7,8,9].

В классической логике под информативностью высказывания понимают относительное число моделей, на которых высказывание эксперта ложно. Другими словами, это расстояние от высказывания до тождественно истинной формулы. Чем меньше моделей, на которых высказывание истинно, тем оно информативней, то

есть менее тривиально. Поэтому вместо термина "мера информативности" будем использовать термин "мера нетривиальности".

Зададим меру нетривиальности для случая конечнозначной логики L_n. Так как в L_n имеется $(n-2)$ истинностных значений, отличных от 1, то нужно учитывать модели, на которых формула принимает значение $\frac{k}{n-1}$, $k = 0,...,n-2$. Также нужно учесть, насколько близко значение формулы к 1. Естественно положить, что коэффициент при модели, на которой формула принимает значение $\frac{k}{n-1}$ должен быть больше, чем коэффициент при модели, на которой формула принимает значение $\frac{l}{n-1}$ при $l > k$, так как $\frac{l}{n-1}$ ближе к 1.

Определение 8. Мерой нетривиальности I формулы φ n-значной логики L_n, $S(\varphi) \cup S(\psi) \subseteq S(\Sigma)$ из $P(S(\Sigma))$ называется величина

$$I(\varphi) = \frac{1}{n^{|S(\Sigma)|}} \sum_{k=0}^{n-1} \alpha_{|(n-1)-k|} \cdot M(\frac{k}{n-1}), \qquad (1)$$

где величины α_i удовлетворяют условиям:

$$0 = \alpha_0 \leqslant \alpha_i \leqslant \alpha_{n-1} = 1;$$

$$\alpha_i \leqslant \alpha_{i+1},\ i = 0,...,n-1;$$

$$\alpha_i + \alpha_{n-1-i} = 1 \quad \forall\, i = 0,...,\frac{n-1}{2}.$$

В выражении (1) набор коэффициентов $\vec{\alpha} = (\alpha_0,...,\alpha_{n-1})$ для меры нетривиальности I зависит от набора коэффициентов $\Lambda = (\lambda_0,...,\lambda_{n-1})$ модельного расстояния ρ, так как мера нетривиальности сама по себе является расстоянием. Кроме того, при совпадении набора $\vec{\alpha}$ и Λ выполняется:

$$I(\varphi) = \rho(\varphi, 1).$$

В частном случае двузначной логики, данное свойство было положено в основу определения меры информативности высказываний в работе [14].

Установим свойства меры нетривиальности I.

Теорема 2. Любые формулы φ, ψ из Σ удовлетворяют следующим свойствам:

1. $0 \leqslant I(\varphi) \leqslant 1$;
2. $I(\varphi) + I(\neg\varphi) = 1$;
3. $I(\varphi \wedge \psi) \geqslant max\{I(\varphi), I(\psi)\}$;
4. $I(\varphi \vee \psi) \leqslant min\{I(\varphi), I(\psi)\}$;

5. $I(\varphi \wedge \psi) + I(\varphi \vee \psi) \geqslant I(\varphi) + I(\psi)$.

Доказательство пунктов Теоремы 2 изложено в работах [7,8,9].

Коллективное расстояние и мера нетривиальности

Известно, что устойчивость решений в задачах машинного обучения, в частности, в кластерном анализе [11-13], может быть повышена благодаря формированию ансамбля алгоритмов и построению на его основе коллективного решения. При этом используются результаты, полученные разными алгоритмами либо одним алгоритмом с различными значениями параметров. Кроме того, для формирования ансамбля могут быть применены разные подсистемы переменных. Ансамблевый подход является одним из наиболее перспективных направлений в машинном обучении [1]. Идея, лежащая в основе этого подхода, может быть применена и при анализе логических высказываний.

Пусть имеется множество, состоящее из l формул $\varphi_1,...,\varphi_l$. Допустим, рассмотрено k произвольных наборов $\Lambda_1,...,\Lambda_k$ и для каждого набора проведено разбиение множества формул на некоторое заданное число кластеров. Для этого может применяться алгоритм кластерного анализа, который в качестве входной информации использует матрицу попарных расстояний между объектами (в нашем случае под объектами понимаются формулы). Поскольку каждый набор Λ_m определяет, вообще говоря, свой тип расстояния, то и соответствующие разбиения на кластеры могут не совпадать. Для каждого m-го полученного набора кластеров вычислим индекс качества группировки s_m, $m=1,...,k$, который показывает общую степень компактности кластеров и их удаленности друг от друга [15] (например, можно использовать индекс Дунна или индекс кофенетической корреляции). Пусть индексы нормированы так, что $s_m \in [0,1]$, $\sum s_m = 1$ и будем считать, что при улучшении качества значение индекса увеличивается.

Для каждой пары формул φ_i , φ_j имеется несколько вариантов расстояний.

Определение 9. Коллективным расстоянием для φ_i и φ_j назовем следующую величину:

$$\tilde{\rho}(\varphi_i,\varphi_j) = s_1\rho_1(\varphi_i,\varphi_j) + ... + s_k\rho_k(\varphi_i,\varphi_j),$$

где $\rho_m(\varphi_i,\varphi_j)$ - расстояние между формулами φ_i и φ_j для набора $\vec{\alpha}_m$, $m=1,...,k.$

Таким образом, коллективное расстояние между парой формул основано на усреднении по всем имеющимся вариантам расстояний с весами, равными показателям качества группировки, проведенной на основе каждого варианта. При таком способе больший вес имеют те варианты задания расстояния, которые позволяют получить более четко выраженные кластерные структуры на множестве формул.

Аналогично введем коллективную меру нетривиальности.

Определение 10. Коллективной мерой нетривиальности для формулы φ_i назовем следующую величину:

$$\tilde{I}(\varphi_i) = s_1 I_1(\varphi_i) + ... + s_k I_k(\varphi_i),$$

где $I_m(\varphi_i)$ - мера нетривиальности формулы φ_i для m-го набора $\vec{\alpha}_m$, $m = 1,...,k.$

Численные эксперименты по кластеризации формул *n*-значной логики

Для множеств высказываний известны только попарные расстояния между формулами и меры нетривиальности. Поэтому для кластеризации были выбраны два широкоизвестных алгоритма, которые предназначены для анализа данных, информация о которых имеет форму матрицы попарных расстояний - иерархический агломеративный алгоритм [16] и алгоритм k-медоидов [17], который можно рассматривать как модификацию алгоритма k-средних.

Разработан программный комплекс, в котором эти алгоритмы кластеризации адаптированы для работы с конечными множествами формул в L_n [10]. Сложность вычисления расстояния между высказываниями экспоненциально увеличивается с ростом их числа, поэтому эксперименты проведены для относительно небольших значений. Ниже приведены результаты численных экспериментов, проведенных с помощью этого программного комплекса.

Использование иерархического алгоритма, $n = 9$

Пусть $n = 9$. Рассмотрим множество $test$ 1, состоящее из 10 формул девятизначной логики L_9: $\varphi_1 = x \to y$, $\varphi_2 = \neg(x \to y)$, $\varphi_3 = (x \vee z) \to y$, $\varphi_4 = \neg((x \wedge y) \vee z) \to w$, $\varphi_5 = y \to (x \wedge z)$, $\varphi_6 = (\neg y \vee (x \to z)) \to w$, $\varphi_7 = ((x \to y) \to z) \to w$, $\varphi_8 = (w \to z) \wedge (y \to x)$, $\varphi_9 = (\neg x \to z) \to (w \wedge y)$, $\varphi_{10} = \neg((x \wedge (y \vee z)) \to (w \wedge \neg z))$.

Проведём кластерный анализ множества $test$ 1, используя иерархический алгоритм. Выберем следующие веса Λ_1:

$\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{8}, \lambda_2 = \frac{2}{8}, \lambda_3 = \frac{3}{8}, \lambda_4 = \frac{4}{8}, \lambda_5 = \frac{5}{8}, \lambda_6 = \frac{6}{8}, \lambda_7 = \frac{7}{8}, \lambda_8 = 1$ (стандартный случай). После 8 итераций результаты кластеризации представлены в Таблице 1. Здесь через Δ обозначено пороговое расстояние, испозуемое для отсечения кластеров на очередной итерации объединения, а через $\varphi_{ij...r}$ множество формул $\varphi_i, \varphi_j, ..., \varphi_r$, объединенных в один кластер.

Таблица 1. Результаты работы иерархического алгоритма, $test\ 1$, $n = 9$, набор весов Λ_1

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3,\varphi_4,\varphi_5,\varphi_6,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
1	0,0073	$\varphi_{46},\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3,\varphi_5,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
2	0,0173	$\varphi_{13},\varphi_{46},\varphi_2,\varphi_5,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
3	0,0952	$\varphi_{13},\varphi_{467},\varphi_2,\varphi_5,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
4	0,0952	$\varphi_{13},\varphi_{467},\varphi_{58},\varphi_2,\varphi_9,\varphi_{10}$
5	0,1907	$\varphi_{13467},\varphi_{589},\varphi_2,\varphi_{10}$
6	0,1907	$\varphi_{13467},\varphi_{58910},\varphi_2$
7	0,3433	$\varphi_{1345678910},\varphi_2$
8	0,5892	$\varphi_{12345678910}$

Теперь зададим набор весов Λ_2:

$\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{9}, \lambda_2 = \frac{2}{8}, \lambda_3 = \frac{5}{16}, \lambda_4 = \frac{4}{8}, \lambda_5 = \frac{11}{16}, \lambda_6 = \frac{6}{8}, \lambda_7 = \frac{8}{9}, \lambda_8 = 1$. Результаты группировки показаны в Таблице 2.

Таблица 2 - Результаты работы иерархического алгоритма, $test\ 1$, $n = 9$, набор весов Λ_2

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3,\varphi_4,\varphi_5,\varphi_6,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
1	0,0051	$\varphi_{46},\varphi_1,\varphi_2,\varphi_3,\varphi_5,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
2	0,0218	$\varphi_{13},\varphi_{46},\varphi_2,\varphi_5,\varphi_7,\varphi_8,\varphi_9,\varphi_{10}$
3	0,0464	$\varphi_{13},\varphi_{46},\varphi_{58},\varphi_2,\varphi_7,\varphi_9,\varphi_{10}$
4	0,0859	$\varphi_{13},\varphi_{467},\varphi_{58},\varphi_2,\varphi_9,\varphi_{10}$
5	0,1933	$\varphi_{13467},\varphi_{589},\varphi_2,\varphi_{10}$
6	0,2496	$\varphi_{13467},\varphi_{58910},\varphi_2$
7	0,3572	$\varphi_{1345678910},\varphi_2$
8	0,5713	$\varphi_{12345678910}$

Использование иерархического алгоритма, $n = 10$

Пусть $n = 10$. Рассмотрим множество $test$ 1 и проведём кластерный анализ множества $test$ 1, используя иерархический алгоритм. Выберем следующие веса Λ_3:

$$\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{9}, \lambda_2 = \frac{2}{9}, \lambda_3 = \frac{3}{9}, \lambda_4 = \frac{4}{9}, \lambda_5 = \frac{5}{9}, \lambda_6 = \frac{6}{9}, \lambda_7 = \frac{7}{9}, \lambda_8 = \frac{8}{9}, \lambda_9 = 1.$$

(стандартный случай). После 9 итераций результаты кластеризации представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Результаты работы иерархического алгоритма, $test$ 1, $n = 10$, набор весов Λ_3.

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
1	0,0081	$\varphi_{46}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
2	0,0081	$\varphi_{13}, \varphi_{46}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
3	0,0173	$\varphi_{13}, \varphi_{467}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
4	0,0952	$\varphi_{13467}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
5	0,0952	$\varphi_{13467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
6	0,1907	$\varphi_{13467}, \varphi_{589}, \varphi_2, \varphi_{10}$
7	0,1907	$\varphi_{13467}, \varphi_{58910}, \varphi_2$
8	0,3864	$\varphi_{1345678910}, \varphi_2$
9	0,5121	$\varphi_{12345678910}$

Теперь выберем набор весов Λ_4:

$$\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{10}, \lambda_2 = \frac{5}{18}, \lambda_3 = \frac{3}{9}, \lambda_4 = \frac{7}{18}, \lambda_5 = \frac{11}{18}, \lambda_6 = \frac{6}{9}, \lambda_7 = \frac{13}{18}, \lambda_8 = \frac{9}{10}, \lambda_9 = 1.$$

Результаты группирования приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Результаты работы иерархического алгоритма, *test* 1, $n = 10$, набор весов Λ_4

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
1	0,0074	$\varphi_{46}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
2	0,0102	$\varphi_{13}, \varphi_{46}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
3	0,0195	$\varphi_{13}, \varphi_{46}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_7, \varphi_9, \varphi_{10}$
4	0,0514	$\varphi_{13}, \varphi_{467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
5	0,0701	$\varphi_{13467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
6	0,1387	$\varphi_{13467}, \varphi_{589}, \varphi_2, \varphi_{10}$
7	0,2017	$\varphi_{13467}, \varphi_{58910}, \varphi_2$
8	0,4553	$\varphi_{1345678910}, \varphi_2$
9	0,5216	$\varphi_{12345678910}$

Использование алгоритма k-медоидов, $n = 7$

Пусть $n = 7$. Рассмотрим множество *test* 2, состоящее из 15 формул семизначной логики L_7: $\varphi_1 = \neg(z \to w)$, $\varphi_2 = x \wedge (y \vee z)$, $\varphi_3 = x \to (z \wedge y)$, $\varphi_4 = (x \vee w) \to z$, $\varphi_5 = x \wedge (z \to \neg y)$, $\varphi_6 = \neg(z \to (x \wedge z))$, $\varphi_7 = y \vee (\neg x \to w)$, $\varphi_8 = (x \to z) \wedge \neg w$, $\varphi_9 = \neg((w \wedge z) \to (x \vee y))$, $\varphi_{10} = (x \to \neg y) \vee (\neg z \to w)$, $\varphi_{11} = x \vee \neg y$, $\varphi_{12} = z \wedge (y \to x)$, $\varphi_{13} = \neg z \vee (x \to (y \wedge v))$, $\varphi_{14} = (y \to z) \to \neg y$, $\varphi_{15} = \neg((x \to y) \wedge z)$.

Произведём кластерный анализ множества *test* 2, используя алгоритм k-медоидов. Допустим, что нужно получить 4 кластера. Выберем следующие веса: $\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{6}, \lambda_2 = \frac{2}{6}, \lambda_3 = \frac{3}{6}, \lambda_4 = \frac{4}{6}, \lambda_5 = \frac{5}{6}, \lambda_6 = 1$. Основываясь на матрице расстояний, выберем 4 центра: $\varphi_3, \varphi_4, \varphi_9, \varphi_{12}$ (центры примерно равноудалены друг от друга и сумма расстояний между ними максимальна). Оставшиеся формулы распределяются в исходные кластеры в соответствии с расстоянием до центров. Это даёт нам следующие кластеры: $\varphi_{3,7,8,11}, \varphi_{1,2,4,6,13,14}, \varphi_{5,9,15}, \varphi_{10,12}$. Затем алгоритм снова вычисляет центры масс и перераспределяет формулы по обновлённым центрам. Алгоритм продолжает работу, пока кластеры не прекратят изменяться. Результаты кластеризации представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Результаты работы алгоритма k-медоидов, $test\ 2$, $n = 7$

Итерация	Центры	Кластеры
1	$\varphi_3, \varphi_4, \varphi_9, \varphi_{12}$	$\varphi_{3,7,8,11}, \varphi_{1,2,4,6,13,14}, \varphi_{5,9,15}, \varphi_{10,12}$
2	$\varphi_3, \varphi_6, \varphi_9, \varphi_{12}$	$\varphi_{3,4,7,8,11,13}, \varphi_{1,2,6,14}, \varphi_{9,15}, \varphi_{5,10,12}$
3	$\varphi_4, \varphi_6, \varphi_9, \varphi_{10}$	$\varphi_{3,4,7,8,11,13}, \varphi_{1,2,6,14}, \varphi_{9,15}, \varphi_{5,10,12}$

Алгоритм останавливается после третьей итерации и даёт в результате 4 кластера: $\varphi_{3,4,7,8,11,13}, \varphi_{1,2,6,14}, \varphi_{9,15}, \varphi_{5,10,12}$.

Использование алгоритма k-медоидов, $n = 10$

Пусть $n = 10$. Рассмотрим множество $test\ 3$, состоящее из 15 формул десятизначной логики L_{10}: $\varphi_1 = x \wedge (\neg z \to y)$, $\varphi_2 = w \to (x \wedge y)$, $\varphi_3 = (y \to z) \vee (\neg (y \wedge z))$, $\varphi_4 = (\neg x \wedge w) \to w$, $\varphi_5 = y \to (y \to w)$, $\varphi_6 = x \to (w \vee y)$, $\varphi_7 = x \wedge (x \to \neg z)$, $\varphi_8 = \neg ((y \vee z) \wedge w)$, $\varphi_9 = x \vee (x \wedge (y \to w))$, $\varphi_{10} = (x \to \neg y) \vee (\neg z \to w)$, $\varphi_{11} = (\neg x \to z) \to (w \wedge y)$, $\varphi_{12} = x \to (w \vee (x \to \neg z))$, $\varphi_{13} = (x \to w) \to (z \vee w)$, $\varphi_{14} = (w \vee x) \wedge x$, $\varphi_{15} = (x \to y) \to (\neg z \wedge w))$.

Произведём кластерный анализ множества $test\ 3$, используя алгоритм k-медоидов. Допустим, что нужно получить 3 кластера. Выберем следующие веса: $\lambda_0 = 0, \lambda_1 = \frac{1}{9}, \lambda_2 = \frac{2}{9}, \lambda_3 = \frac{3}{9}, \lambda_4 = \frac{4}{9}, \lambda_5 = \frac{5}{9}, \lambda_6 = \frac{6}{9}, \lambda_7 = \frac{7}{9}, \lambda_8 = \frac{8}{9}, \lambda_9 = 1$. Основываясь на матрице расстояний, выберем 3 центра: $\varphi_1, \varphi_8, \varphi_{15}$. Оставшиеся формулы распределяются в исходные кластеры в соответствии с расстоянием до центров. Затем алгоритм снова вычисляет центры масс и перераспределяет формулы по обновлённым центрам. Алгоритм продолжает работу, пока кластеры не прекратят изменяться. Результаты кластеризации представлены в Таблице 6.

Таблица 6. Результаты работы алгоритма k-медоидов, $test\ 3$, $n = 10$

Итерация	Центры	Кластеры
1	$\varphi_1, \varphi_8, \varphi_{15}$	$\varphi_{1,3,4,10,11}, \varphi_{6,8,9,12,13}, \varphi_{2,5,7,14,15}$
2	$\varphi_{10}, \varphi_6, \varphi_7$	$\varphi_{1,3,4,7,10,11}, \varphi_{5,6,8,9,12,13}, \varphi_{2,14,15}$
3	$\varphi_{10}, \varphi_8, \varphi_7$	$\varphi_{1,3,4,7,10,11}, \varphi_{5,6,8,9,12,13}, \varphi_{2,14,15}$

Алгоритм останавливается после третьей итерации и даёт в результате 3 кластера: $\varphi_{1,3,4,7,10,11}, \varphi_{5,6,8,9,12,13}, \varphi_{2,14,15}$.

Использование коллективных расстояний и иерархического алгоритма, $n = 9,10$

Рассмотрим множество *test* 1 и проведём кластерный анализ, используя иерархический алгоритм на основе коллективных расстояний, вычисляемых на основе наборов весов Λ_1, Λ_2. Качество кластеризации определялось с помощью индекса Дунна. После 9 итераций результаты кластеризации представлены в Таблице 7.

Таблица 7. Результаты работы иерархического алгоритма, *test* 1, $n = 9$, коллективное расстояние

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
1	0,0076	$\varphi_{46}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
2	0,0165	$\varphi_{13}, \varphi_{46}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
3	0,0252	$\varphi_{13}, \varphi_{467}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
4	0,0300	$\varphi_{13}, \varphi_{467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
5	0,0383	$\varphi_{13467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
6	0,0498	$\varphi_{13467}, \varphi_{589}, \varphi_2, \varphi_{10}$
7	0,0577	$\varphi_{13467}, \varphi_{58910}, \varphi_2$
8	0,0654	$\varphi_{1345678910}, \varphi_2$
9	0,0761	$\varphi_{12345678910}$

Теперь повысим размерность логики до 10. Проведём кластерный анализ множества *test* 1, используя иерархический алгоритм на основе коллективных расстояний, вычисляемых на основе наборов весов Λ_3, Λ_4 После 9 итераций результаты кластеризации представлены в Таблице 8.

Таблица 8. Результаты работы иерархического алгоритма, $test\ 1$, $n = 10$, коллективное расстояние

Итерация	Δ	Кластеры
0	0,0000	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
1	0,0066	$\varphi_{46}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
2	0,0178	$\varphi_{13}, \varphi_{46}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_7, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
3	0,0245	$\varphi_{13}, \varphi_{467}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
4	0,0324	$\varphi_{13467}, \varphi_2, \varphi_5, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}$
5	0,0453	$\varphi_{13467}, \varphi_{58}, \varphi_2, \varphi_9, \varphi_{10}$
6	0,0518	$\varphi_{13467}, \varphi_{589}, \varphi_2, \varphi_{10}$
7	0,0679	$\varphi_{13467}, \varphi_{58910}, \varphi_2$
8	0,0822	$\varphi_{1345678910}, \varphi_2$
9	0,0937	$\varphi_{12345678910}$

Наблюдения и выводы для различных значений n

Была создана база из 300 различных логических формул, откуда случайным образом выбирались подмножества формул. С помощью адаптированных алгоритмов, применяемых в предыдущей главе, было кластеризовано более 50 таких подмножеств при различных значениях n и λ .

Исходя из рассмотренных примеров для новых метрик, были сделаны следующие выводы:

1. Для $n = 2,...,9$ наблюдается разница в составе кластеров, а при $n > 9$ кластеры и последовательность итераций не меняется. Таким образом, возникает гипотеза о нецелесообразности использования логики большой значности в реальных задачах от малого числа переменных.

2. В большинстве случаев применение коллективных расстояний дает лучшее значение индексов качества кластеризации.

Заключение

В данной работе решалась задача анализа экспертных знаний, представленных в виде логических высказываний - формул *n*-значной логики Лукасевича. Основываясь на коллективном подходе в машинном обучении, предложены новые метрики на формулах, позволяющие проводить их кластеризацию и оценивать информативность высказываний. Для этого были адаптированы два алгоритма кластеризации – иерархический агломеративный и k-медоидов (k-medoids). Проведены численные эксперименты для различных примеров значений n и расстояний, показаны различия в полученных результатах группировки.

Для автоматической кластеризации разработано рабочее java-приложение. Сложность алгоритма вычисления расстояния между формулами - экспоненциальная.

В дальнейшем планируется адаптировать для решения рассматриваемой задачи и другие алгоритмы кластеризации (например спектральный алгоритм). Актуальной является задача уменьшения сложности алгоритма вычисления расстояний на основе приближенных полиномиальных алгоритмов, решение которой необходимо для проведения анализа большого числа формул. Представляется возможным обобщить развиваемый подход на случай задачи классификации логических высказываний (обучения «с учителем»). В этой задаче требуется отнести некоторое новое высказывание к одному из возможных классов, используя информацию об имеющихся формулах и их принадлежности классам. Планируется также применить полученные результаты для решения практических задач, связанных с разработкой интеллектуальных систем в различных прикладных областях.

Благодарности

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект 18-07-00600а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А.А. Слинкина. - М.: ДМК Пресс, 2015.

2. Tiwari M., Mishra B. Application of cluster analysis in expert system – a brief survey // International Journal of Computer Science Issues. 2011. Vol. 8, Issue 5, No 1. P. 342-346.

3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – С 270.

4. Vikent'ev A.A., Lbov G.S. Setting the metrics and informativeness on statements of experts // Pattern Recognition And Image Analysis, 1997, Vol. 7, No. 2, P. 175-183.

5. Викентьев А.А., Викентьев Р. А. Расстояния и меры недостоверности на высказываниях n-значной логики // Вестник НГУ. Сер. матем., мех., информ., 2011, Т. 11:2, – С. 51-64.

6. Викентьев А.А. О возможных расстояниях и степенях недостоверности в многозначных высказываниях экспертов и приложение этих понятий в проблемах кластеризации и распознавания // Проблемы информатики, Новосибирск: СО РАН, 2011, Т. 3, – С. 33-45.

7. Vikent'ev A.A. Distances and Degrees of Uncertainty in Many-Valued Propositions of Experts and Application of These Concepts in Problems of Pattern Recognition and Clustering // Pattern Recognition and Image Analysis, 2014, Vol. 24, No. 4, – P. 489-501.

8. Vikent'ev, A.A., Avilov M.S. New Model Distances and Uncertainty Measures for Multivalued Logic. // C. Dichev, G. Agre (Eds.): Artificial Intelligence: Methodology,

Systems, and Applications, Lecture Notes on Computer Science, 2016, LNCS 9883, – P. 89-98.

9. Викентьев А.А., Кабанова Е.С. Расстояния между формулами пятизначной логики Лукасевича и мера недостоверности высказываний экспертов в кластеризации баз знаний // Вестник Томского государственного университета, Томск, 2013, 2(23), – С 121-129.

10. Викентьев А.А., Фефелова В.В. Новые модельные расстояния и меры достоверности формул логики Лукасевича в автоматической кластеризации высказываний баз данных // Algebra and Model Theory 10. Collection of papers / Eds.: A.G.Pinus, K.N.Ponomaryov, S.V.Sudoplatov, and E.I.Timoshenko, Novosibirsk, 2015. – P. 197-209.

11. Авилов М.С. Программный комплекс вычислений расстояний, мер нетривиальности и кластеризации множеств высказываний в n-значной логике // Материалы 53-й международной научной студенческой конференции МНСК-2015, Новосибирск, 2015, Математика, – С. 6.

12. Berikov V.B. Weighted ensemble of algorithms for complex data clustering // Pattern Recognition Letters. 2014. Vol. 38. – P. 99-106.

13. Berikov, V., Pestunov, I.: Ensemble clustering based on weighted co-association matrices: Error bound and convergence properties // Pattern Recognition. 2017. Vol. 63. – P. 427-436.

14. Amirgaliyev Y., Berikov V., Latuta K., Bekturgan K., Cherikbayeva L. Group Approach to Solving the Tasks of Recognition // Yugoslav Journal of Operations Research. 2019. Vol. 29, N 2. – P. 177-192.

15. Блощицын В.Я., Лбов Г.С. О мерах информативности логических высказываний // Доклады Республиканской школы-Семинара "Технология разработки экспертных систем". Кишинев, 1978. – С.12-14.

16. Arbelaitz O., Gurrutxaga I., Muguerza J., Perez J., Perona I. An extensive comparative study of cluster validity indices // Pattern Recognition. 2013. – P. 243-256.

17. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. - М.: Мир, 1976.

КРИВИЗНА ФОРМАНА-РИЧЧИ В ТЕКСТУРНОМ АНАЛИЗЕ ДДЗ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г., Терехов А.Г., Джаксылыкова А.Б.

e-mail: ng-makar@mail.ru

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В работе обсуждается применение дискретной кривизны Формана-Риччи для выделения сезонной компоненты аридных территорий по цифровым изображениям космического мониторинга. Такие территории обычно имеют текстуру с высокой вегетативной вариативностью. Дискретный аналог*

кривизны Риччи является локальным дескриптором, описывающим структуру связей ребра пиксела с его окрестностью. Численные эксперименты показывают, что кривизна Формана-Риччи хорошо отслеживает текстурные особенности ДДЗ снимков и их временные вариации. Этот интересный дескриптор быстро вычисляется и допускает удобные меры сравнения. Следовательно, кривизна может оказаться полезной в системах космического мониторинга.

Дистанционное зондирование земных ландшафтов является приоритетным методом решения многих задач на основе космической информации. Они включают описание региональных структур, исследовании вулканической деятельности, мониторинг разлива нефти на поверхности водоемов, составлении схем линеаментов, поиск признаков минерализации, оценки трещиноватости льдов, обновлении геологических карт, обнаружении локальных и глобальных природных и техногенных аномалий. Временные интервалы, охваченные ДДЗ позволяет отслеживать не только сезонные тренды в текстурах ландшафтов [1] но даже изменения климата [2]. Современные сенсоры космических аппаратов (КА) позволяют достигать высоких пространственных разрешений менее 1м., охватывая большой набор каналов от ультрафиолетового излучения до радиоволн. Объединение низколетящих КА в группы позволяют вести мониторинг с ежечасной повторной съемке. Примером может служить группа из 48 КА серии *HOPSat*, с планируемым разрешением до 20см. Изображения, полученные с таких КА, их называют HR (High resolution) изображениями демонстрируют гетерогенность высокоразмерных монохроматических и особенно гиперспектральных данных. Они отягощены эффектами концентрации меры, неизбежными для высокоразмерных пространств. Тяжелые хвосты в распределениях яркости или контраста подчиняются степенным законам и проявляются в мультифрактальном скейлинге [3]. Следовательно, методы, основанные на Пирсоновской статистике порядка, становятся неэффективными. В этой ситуации переходят к нелинейным “ядерным» методам выделения свойств [4], либо используют «бесконтекстные» признаки, полученные с помощью сверточных нейронных сетей [5]. Недавно нами были предложены топологические дескрипторы изображений, основанные на методах алгебраической топологии [6]. Они представляют собой персистентные числа Бетти, которые являются рангами групп гомологий и описывают число независимых классов циклов, факторизованных по границам. Существует интересная связь между числами Бетти, спектром дискретного Лапласиана и кривизной Риччи [7]. В этой работе мы обсуждаем один из компонент этой связи-кривизну Риччи для ДДЗ.

Геометрия, обеспечивает минимальный контекст, ограниченный формой объекта без привлечения дополнительной структуры. Однако, гладкие поверхности и/или их кусочно-линейные аппроксимации слишком грубая модель для «неестественных» цифровых изображений которыми оперирует ДДЗ. Нам необходимы дискретные модели, в которых аналоги операторов определены надлежащим внутренним образом, а не грубой дискретизацией дифференциалов [8,9]. Напомним теперь идею кривизны Риччи в римановой геометрии, где она определяется для дуг или ребер. Рассмотрим две точки (x, y) на дважды дифференцируемой поверхности. Предположим что они связаны геодезической с

длиной $d(x,y)$. Рассмотрим вектор w длины ε, касательный к некоторому направлению по геодезической. Изменение его направления образует ε окрестность точки $S(x,\varepsilon)$. Перенесем этот вектор параллельно самому себе в точку y. Его образ будет заметать свою ε окрестность при изменении направления, $S(y,\varepsilon)$. Измерим все расстояния между концами пар векторов w и его образа в окрестности $S(y,\varepsilon)$ при разных положениях вектора w и усредним их. Обозначим среднее, как $\delta(x,y)$ Тогда, кривизна Риччи определится соотношением:

$$\delta(x,y) = k(\varepsilon,N)(1 - Ric(x,y)\,d(x,y)),$$

где $k(\varepsilon,N)$ -функция размерности и сдвига.

Итак, кривизна оценивается изменением длины ребер или дуг при их параллельном смещении вдоль геодезических. Для цифровых изображений вершины, ребра и грани пикселов носителя наделены соответствующими весами. Так ребра разделяют соседние пикселы и роль их длины играет их вес, равный среднему арифметическому яркости этих двух пикселей. Это так называемые комбинаторные веса, в отличие от геометрических, введенных на основе римановой метрики [8].

Формальным контекстом для кривизны цифровых изображений является дискретная теория Морса, которая представляет собой градиентную модель изображения. В ее основе лежит структура, называемая CW комплексом. Каждая $p-$клетка CW комплекса гомеоморфна открытому евклидовому диску размерности p. Будем считать две $p-$клетки α_1 и α_2, *параллельными соседями*, если:

- существует $p+1$ клетка β, такая что $\alpha_1 < \beta$ *и* $\alpha_2 < \beta$
- существует $p-1$ клетка γ, такая что $\gamma < \alpha_1$ *и* $\gamma < \alpha_2$

Здесь запись $\alpha < \beta$ означает, что α-граница β. Иными словами, в пикселе параллельными соседями могут быть два противоположных ребра (смежность по грани) и ребра, являющиеся продолжением выбранного ребра (смежность по вершине). Ребра, ортогональные выбранному, не учитываются, потому что являются смежными по двум условиям, одновременно.

Форман Р., используя так называемую формулу Бохнера, вывел дискретную форму кривизны для $p-$клетки α [7-9]:

$$\mathcal{F}_p(\alpha) = \#\{(p+1)-cells\ \beta > \alpha\} + \#\{(p-1)-cells\ \gamma < \alpha\} - \#\{parallel\ neighbor\ \alpha\}$$

Эта формула переписанная для ребра $\alpha = e_0$, разделяющего клетки c_1 и c_2 принимает вид[8]:

$$Ric(e_0) = \omega(e_0)\left[\left(\frac{\omega(e_0)}{\omega(c_1)} + \frac{\omega(e_0)}{\omega(c_2)}\right) - \left(\frac{\sqrt{\omega(e_0)\omega(e_1)}}{\omega(c_1)} + \frac{\sqrt{\omega(e_0)\omega(e_2)}}{\omega(c_2)}\right)\right]$$

Здесь $\omega(e_i), \omega(c_i)$ - веса ребер и граней, соответственно, ребра $e_1, e_2 \| e_0$. Вычисленную таким образом кривизну называют *кривизной Формана-Риччи* [8,9]. Именно она использовалась в численных экспериментах.

Результаты. Мы использовали описанную выше технику для анализа многолетней динамики природных систем с высокой сезонной вариативностью. Типичным примером систем такого класса являются озёрно-болотные комплексы, расположенные в аридном климате. В течение сезона площади водных пространств и подтопленной растительности могут кардинально меняться, вплоть до их полного исчезновения в сухой сезон. Сезонные режимы не стабильны на масштабах десятилетия. Влажные года перемежаются сухими. Таким образом, формируется сложная динамика, трассирующая климатическую компоненту и ее вариативность. Дополнительным фактором в таких системах, практически всегда, оказывается антропогенная нагрузка, обусловленная сельскохозяйственным производством в условиях климатического дефицита увлажнения.

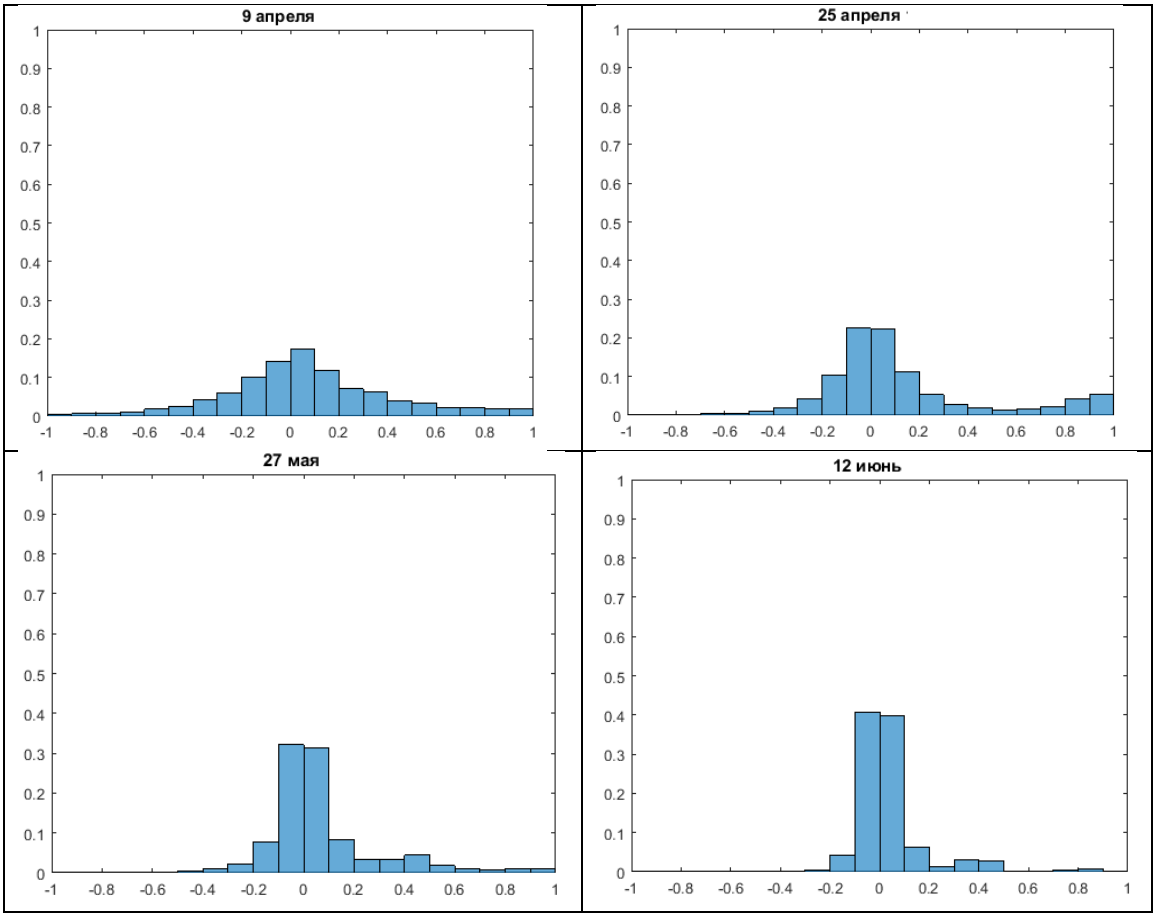


Рисунок 1. Гистограммы распределения кривизны Формана Риччи.
Диапазон изменений [-1 1]

Для тестирования методики были выбраны водно-болотные угодья Хамун, бассейн Систан рек Гильменд на восточной границе Ирана (граничит с Афганистаном). Они подробно описаны в работах [10,11]. Для оценки кривизны Формана-Риччи использовались ежемесячные мультиспектральные снимки Landsat 8 для интервала времени январь-июль 2019 г. Предобработка заключалась в том, что из каждого изображения в формате RGB вычитался фон $I = G - B$, значения яркости <20 приравнивались к нулю и получившееся изображение в градациях серого, нормировалось на стандартное отклонение. Кривизна Формана-Риччи для некоторых изображений приведена на Рис.1. Гистограммы демонстрируют хорошо заметную вариабельность центральной части и хвостов.

Заключение. В работе приводятся результаты численных экспериментов по тестирования дискретной кривизны Риччи в качестве дескриптора текстуры цифровых изображений. Эвристически, градиент не позволяет классифицировать кривые на плоскости- полученное множество касательных конгруэнтны друг другу. Однако вторая производная, кривизна, позволяет различить параболу и дугу окружности. Преимущества предлагаемого метода заключается в использовании дифференциально-геометрического инварианта второго порядка. Он несет информацию о глубинной структуре изображения, несет локальную и глобальную информацию о его свойствах. Наши эксперименты показали возможность дескриптора отслеживать сезонную вариабельность ландшафта. Для количественного сравнения гистограмм можно использовать относительные энтропии, диффузное расстояние или метрику Фишера-Рао, адаптированную к полуплотностям.

Работа выполнена при поддержке гранта №Ф305134227 КН МОН РК

Литература

1. Verbesselt J. et al. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series //Remote sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114. – №. 1. – P. 106-115.
2. Yang J. et al. The role of satellite remote sensing in climate change studies //Nature climate change. – 2013. – Vol. 3, №. 10. – P. 875.
3. Макаренко Н. Г., Каримова Л. М., Круглун О. А. Скейлинговые свойства цифровых изображений земных ландшафтов //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. – 2014. – Т. 11, №. 2. – С. 26-37.
4. Arenas-García J., Camps-Valls G. Feature extraction from remote sensing data using Kernel Orthonormalized PLS //2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – IEEE, 2007. – P.258-261.
5. Hedayatnia B. et al. Determining feature extractors for unsupervised learning on satellite images //2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). – IEEE, 2016. – P. 2655-2663.
6. Макаренко Н. Г. и др. Распознавание текстур на цифровых изображениях методами вычислительной топологии //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. – 2015. – Т. 12. – С. 131.
7. Goldberg S. I. Curvature and homology. – Courier Corporation, 1998.

8. Saucan E. et al. Combinatorial ricci curvature and laplacians for image processing //2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing. – IEEE, 2009. – P. 1-6.

9. Saucan E. Metric Curvatures Revisited: A Brief Overview //Modern Approaches to Discrete Curvature. – Springer, Cham, 2017. – P. 63-114.

10. Харазми Р., Паниди Е. А., Чабан Л. Н. Оценка динамики аридных экосистем по результатам автоматизированной обработки серий мультиспектральных спутниковых снимков //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, №. 3. – С. 196-205.

11. Харазми Р., Паниди Е. А., Каркон В. М. М. Оценка динамики аридных экосистем на основе временных рядов космических снимков //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, №. 5. – С. 214-223.

РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРИПТОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Жукабаева Т., Абдилдаева А., Тураев Ш., Марденов Е.
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

***Аннотация**. В данной статье предлагается новая симметричная криптосистема, основанная на недетерминированных конечных автоматах. Предложенная криптосистема обладает более высокой безопасностью и более эффективной производительностью, чем ее детерминированные аналоги - криптосистема Dömösi и ее модифицированная версия.*

Безопасность информации является одним из важнейших аспектов коммуникаций, которая из-за повышения опасности взлома в приложениях реального времени требует улучшения существующих и разработки новых криптосистем с высокой степенью безопасности и производительности[1,2,3]. Криптосистемы основанные на конечных автоматах являются формальными моделями вычислительных устройств, могут быть эффективно реализованы на программном и аппаратном уровнях. В настоящее время потоковые шифры используются в широком спектре приложений, таких как глобальная система мобильной связи (GSM), Bluetooth, Secure Socket Layer (SSL), цифровое видеовещание (DVB) и т.д. В таких приложениях, благодаря простоте программной и аппаратной реализации, эффективности и высокой пропускной способности, для шифрования предпочтительнее использовать потоковые шифры. Однако существуют поточные шифры, которые менее надежны [4,5] и трудно реализуемые [6]. Поэтому разработка новых безопасных и эффективных криптосистем является актуальной задачей. Криптосистемы, основанные на формальной теории языка,

могут быть классифицированы в соответствии с вычислительными моделями, такими как грамматики, L-системы, конечные автоматы, клеточные автоматы, используемые в качестве инструментов шифрования и дешифрования в этих системах [6-9]

В 1985 году Дао и Чен [10,11] предложили криптосистему с открытым ключом, основанную на модели конечных автоматов Мили, которая называется криптосистемой открытого ключа автоматов (FAPKC). Идея этой криптосистемы зависит от трудностей в обращении составленных конечных автоматов. Эти системы имеют много преимуществ: во-первых, системы очень быстрые и могут быть реализованы в программном и аппаратном обеспечении, а во-вторых, они также могут использоваться для обеспечения конфиденциальности и цифровой подписи. В этих системах открытый ключ состоит из комбинации двух конечных автоматов, а закрытый ключ состоит из обратных автоматов. Очевидно, что сложно объединить объединенные автоматы без знания автоматических ключей. Спустя 10 лет Бао и Игараши [13] обнаружили некоторые недостатки безопасности в этих системах. Для предотвращения криптоакак были разработаны модифицированные варианты, такие как FAPKC2, FAPKC3 [14]. Но эти изменения были также нарушены Месканеном [15]. Тао и др. представили FAPKC4 [16], который является безопасным и по-прежнему сохраняет достоинства ранних FAPKC, таких как быстрая скорость, относительно короткий открытый ключ и может быть легко реализован, поскольку он включает только логические операции. FAPKC4 практически используется во многих локальных сетях в Китае. Другие криптосистемы, основанные на машинах Мили, можно найти в работах [17-20].

В работе [21] была введена симметричная криптосистема, основанная на модели конечных автоматов Мура. Безопасность этой системы зависит от многих вещей, от выбранных конечных автоматов, от выбора перестановки, отношения повторения и секретного ключа.

В 2008 году Демёси [22,23] представил криптосистему с симметричным ключом на основе модели конечных автоматов Рабина-Скотта, которые действуют как ключи для шифрования открытых текстов и дешифрования зашифрованных текстов. Однако криптосистема Демёси имеет некоторые практические трудности в алгоритме шифрования, что влияет на всю производительность криптосистемы. Сравнивая некоторые потоковые шифры, предлагаемая криптосистема Демёси довольно медленная. Вопросы безопасности криптосистемы Демёси были тщательно исследованы в работе [24].

NFA - $M = (A, a_0, \delta, \Sigma, F)$ где A конечное непустое множество состояний, Σ - алфавит входных сигналов, $a_0 \in A$ - начальное состояние, $F \subseteq A$ - набор конечных состояний, и $\delta : A \times \Sigma \to P(A)$ является функцией перехода с установленной мощностью $P(A)$ из A.

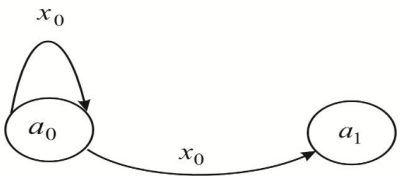


Рисунок 1: Диаграмма состояния NFA

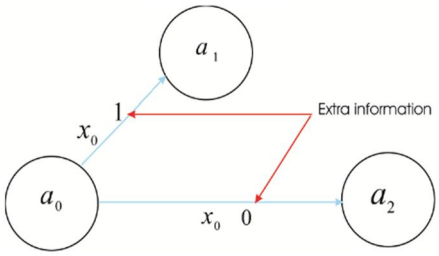


Рисунок 2

Чтобы использовать NFA в качестве ключевого автомата в алгоритмах шифрования и дешифрования, предлагаем следующую модифицированную процедуру:

1. Пусть $M = (A, a_0, \delta, \Sigma, F)$ будет недетерминированным автоматом. За каждый сигнал x в зашифрованном алфавите Σ соответствует текущему состоянию $a \in A$, назначаем дополнительную информацию $i_j \in \{0,1\}^*$ как показано на рисунке 2.

2. Для генерации этой информации i_j ^{i_j}, вводим следующие процедуры:

- Пусть функция μ $^{\mu : A \times \Sigma \to n}$ принимает два параметра: текущее состояние q ^{a} и сигнал x ^{x} в качестве входных данных, а выходной параметр - номер следующего состояния (состояний). Например, пусть $\delta(a,x) = \{a_1, a_2\}$ $\delta(a,x) = \{a_1, a_2\}$, где $a_1, a_2 \in A$, тогда $\mu(a,x) = 2$ $\mu(a,x) = 2.$
- Если $\mu(a,x) = 1$ $^{\mu(a,x)=1}$ тогда $i_0 = 0$ $^{i_0 = 0}$.
- Если $\mu(a,x) = 2$ $^{\mu(a,x)=2}$ тогда $^{i_0 = 0}$, $^{i_1 = 1}$ $i_0 = 0,\ i_1 = 1$ и т.д.

3. Предлагаем новую функцию перехода δ' забирает ключевой автомат из текущего состояния a к следующему состоянию (ям), так что $\delta'(a, x, i_j) \to 2^A$ $\delta^*(a, x, i_j) \to 2^A$, где новая функция перехода δ' принимает i_j в качестве дополнительного аргумента вместе с текущим состоянием q ^{a} и зашифрованный сигнал x

4. Для того, чтобы выбрать дополнительную информацию (битовые строки) i_j в алгоритмах шифрования и дешифрования мы используем одни и те же псевдослучайные начальные значения во время процессов шифрования и дешифрования, в противном случае при дешифровании не получается один и тот же

открытый текст, и $i_j = PRNG\ mod\ \mu(a,x)$, где a и x текущее состояние и входной сигнал соответственно.

Предлагаемые алгоритмы шифрования и дешифрования, основанные на недетерминированных автоматах и подходе системы управления, показаны в алгоритмах 1 и 2.

Algorithm 1: Encryption algorithm

Procedure **MODIFIEDENCRYPTION**
Input: $b_1 b_2 \cdots b_n \in \prod^+$
Output: $w_1 w_2 \cdots w_k \in \Sigma^*$
$p \leftarrow a_0, \quad i \leftarrow 1;$
while $i \le k$ **do**
read b_i;
$w_i \leftarrow \lambda;$
select a random t **with** $s_{\min} \le t \le s_{\max}$;
$j \leftarrow 0;$
while $j \le t-1$ **do**
select a random $x \in V_1[p]$
select a random r **with** $\widehat{\delta}(p, w_i x, r)$ **and** $a \notin \phi^{-1}(b_i);$
$w_i \leftarrow w_i x;$
$p \leftarrow a;$
$j \leftarrow j+1;$
select $x \in V_2[b_i][p];$
select a random r **with** $\widehat{\delta}(p, w_i x, r)$ **and** $a \in \phi^{-1}(b_i);$
$w_i \leftarrow w_i x;$
$p \leftarrow a;$
$i \leftarrow i+1;$
return $w_1 w_2 \cdots w_k$;

Algorithm 2: Decryption Algorithm

Procedure **MODIFIEDDECRYPTION**
Input: $x_1 x_2 \cdots x_k \in \Sigma^*$
Output: $b_1 b_2 \cdots b_n \in \prod^+$
$p \leftarrow a_0, \quad i \leftarrow 0; \ j \leftarrow 0;$
while $i \le k$ **do**
select a random number r;
$a \leftarrow \hat{\delta}(p, x_i, r);$
$j \leftarrow j+1;$
if $(a \in F \ \&\ j \ge s_{\min})$ **do**
$j \leftarrow 0; \ i \leftarrow i+1;$
$b_i \leftarrow \phi(a);$
return $b_1 b_2 \cdots b_n \in \prod^+;$

Мы рассматриваем конечный автомат для нашей предлагаемой криптосистемы. Пусть $M = (Q, q_0, \delta', \Sigma, F)$будет автоматом, где $\Sigma = \{x_0, x_1, x_2, x_3, x_4\},$ и $F = \{a_3, a_4\}$ такой, что $\phi^{-1}(b_1) = a_3,$ где $b_1 \in \prod$ является открытым текстом и функция δ^* перехода с дополнительной информацией определяются, как показано на рисунке 3 , и пусть длина блока зашифрованного текста равна 4.

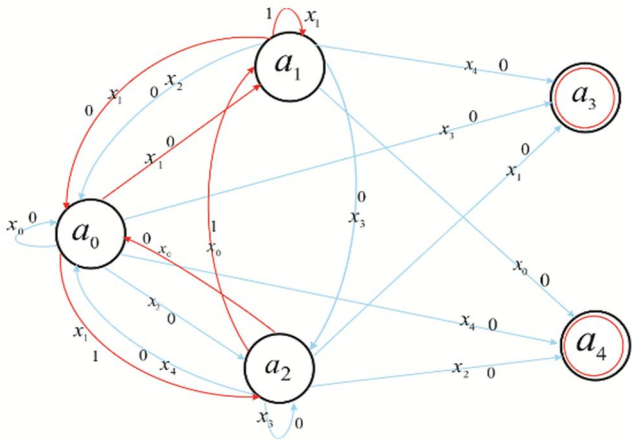


Рисунок 3: Криптосистема на основе NFA

Рассмотрим генерацию зашифрованного текста w_1. Также, генерацию зашифрованного текста, соответствующего текстовому символу b_1. На основе подхода к системе управления мы определяем два вектора V_1 и V_2, для каждого состояния:

$$V_1[a_0] =< x_0, x_1, x_2 >$$
$$V_1[a_1] =< x_1, x_2, x_3 >$$
$$V_1[a_2] =< x_0, x_3, x_4 >$$
$$\dots$$
$$V_2[a_0, b_1] =< x_3 >$$
$$V_2[a_1, b_1] =< x_4 >$$
$$V_2[a_2, b_1] =< x_1 >$$
$$\dots$$

Во-первых, алгоритм шифрования создает префикс зашифрованного текста w_1 путем случайного выбора сигнала x_i из векторов V_1, и в то же время он генерирует строку битов i_j для каждого сигнала x_i, используя генератор псевдослучайных чисел. Этот процесс повторяется три раза, поскольку длина блока зашифрованного текста для каждого символа открытого текста равна четырем. Наконец, он выбирает сигнал V_2 на основе текущего состояния b_1, и w_1. конечного состояния завершения построения зашифрованного текста.

Пусть (x_2, x_0, x_3, x_1) и $(0,1,0,0)$ - символы зашифрованного текста и дополнительная информация, которые случайным образом выбираются векторами V_1, V_2 из генератора псевдослучайных чисел w_1. Затем выходной зашифрованный текст, соответствующий b_1 открытому тексту $w_1 = x_2x_0x_3x_1$ представляет собой рисунок 4, показывающий полученный зашифрованный текст на основе системы управления и недетерминированного конечного автомата.

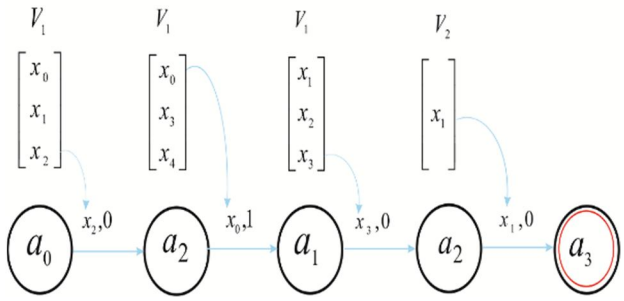


Рисунок 4: Система управления и недетерминированные автоматы

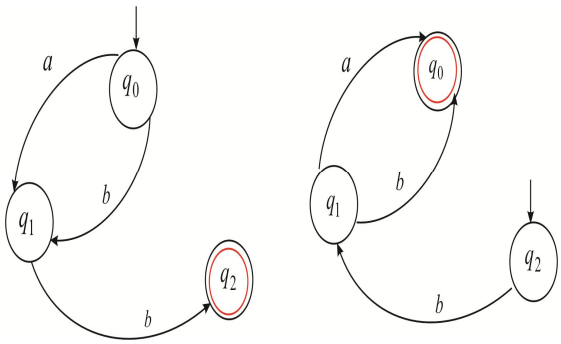
В алгоритме дешифрования процедура считывает символы (x_2, x_0, x_3, x_1) зашифрованного текста в то же время, когда генератор псевдослучайных чисел выдает ту же последовательность дополнительной управляющей информации$(0,1,0,0)$, которая соответствует символам зашифрованного текста $(a_0, a_2, a_1, a_2, a_3)$, затем ключевой автомат переходит в состояния под действием a_3 и b_1, следовательно, в состояние являющемся конечным состоянием и восстанавливается открытым текстом, где $\phi(a_3) = b_1$.

Чтобы проверить случайность предлагаемой криптосистемы, мы проверяем последовательность байтов потока выходного зашифрованного текста, используя программу ENT 2008 [25]. Для выполнения этих тестов мы используем случайную выборку открытого текста размером 5 КБ и размером зашифрованного текста около 90 КБ, пусть минимальная длина блока зашифрованного текста равна 9, максимальная длина блока зашифрованного текста равна 10, и для каждого сигнала есть несколько дополнительных сигналов. Таблица 4 показывает, что выходной зашифрованный текст имеет высокую энтропию. Среднее арифметическое значение предлагаемой криптосистемы достигает 127,5, таким образом, информация близка к истинной случайности. Тест распределения хи-квадрат показывает, что последовательности байтов зашифрованного текста являются случайными. Кроме того, коэффициент последовательной корреляции близок к нулю, это означает, что последовательность байтов зашифрованного текста некоррелирована.

Таблица 4: Проверка случайности предлагаемой криптосистемы

Дополнительные сигналы	**Энтропия**	**хи-**квадрат	**Среднее значение**	**Монте-Карло**	**последовательный корреляция**
2	7.997814	21,99%	127,48	3,1362	0,0008
3	7.998164	89,10%	127,54	3,1517	0,0026
4	7.997949	49,28%	127,88	3,1496	0,0087
5	7.998037	67,38%	127,88	3,1453	0,0023

Кроме того, графики моделирования распределения символов показывают, что символы в зашифрованном тексте имеют хорошее равномерное распределение, доля каждого символа находится в диапазоне от 0,003 до 0,0037.



Последовательность байтов потока выходного зашифрованного текста является случайным. Следовательно, предлагаемая криптосистема является сильной против статистических атак.

В этой статье был предложен новый потоковый шифр на основе недетерминированных конечных автоматов в качестве ключей для шифрования и дешифрования. Простой пример показал, как использовать недетерминированный автомат в качестве ключевого автомата. В то время, безопасность и производительность анализа показали, что предлагаемая криптосистема может противостоять против многих видов атак, и имеет высокую производительность.

Список литературы

1. Stallings, W.: Cryptography and network security (Pearson, USA, 2014).
2. Schneier, B.: Applied Cryptography, Second Edition, Protocols, Algorithms and Source Code in C. John Wiley & Sons, Inc., 1996
3. Robshaw, M., Billet, O. (Eds.): New Stream Cipher Designs. LNCS 4986, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
4. Sepehrdad, P., Vaudenay, S., Vuagnoux, M.: Statistical Attack on RC4: Distinguishing WPA. In: Paterson, K.G. (Ed.) EUROCRYPT 2011, LNCS 6632, pp. 343-363. Springer, Heidelberg (2011).
5. Barkan, E., Biham, E., Keller, V.: Instant Ciphertext-only Cryptanalysis of GSM encrypted Communication. Technical Report CS-2006-07, Technion, 2006.
6. Dömösi, P.: A novel cryptosystem based on finite automata without outputs. In: M. Ito, Y. Koboyashi, K. Shoji, eds., Automata, Formal Languages and Algebraic Systems, (World Scientific, 2008), pp. 23–32.
7. Dömösi, P.: A novel stream cipher based on finite automata. In: IntelliSec – The 1st International Workshop on Intelligent Security Systems. Bucharest, Romania (November 11-14, 2009).
8. Dömösi, P.: US. Pub. No. US 2009/0092251 A1.
9. Wagner, N., Magyarik, M.: A public-key cryptosystem based on the word problem. Advances in Cryptology – CRYPT084, LNCS 196, Springer-Verlag, Berlin, pp. 19-37 (1985).

10. Tao, R., Chen, S.: A finite automaton public key cryptosystem and digital signature. Chinese Journal of Computers 8(6), pp. 401–409 (1985).

11. Tao, R., Chen, S.: Two varieties of finite automaton public-key cryptosystem and digital signatures. J. of Compt. Sci. and Tech. 1, pp. 9–18 (1986).

12. Tao, R.: On finite automaton one-key cryptosystems. In: R. Anderson, ed., Proc. 1st Fast Software Encryption Workshop – FSE'93, LNCS 809, Springer-Verlag, Berlin, 1994, 135–148.

13. Bao, F., Igarashi, Y.: Break finite automata public key cryptosystem. In: International Congress of Mathematicians. pp. 147–158 (1995).

14. Tao, R., Chen, S.: FAPKC3: a new finite automaton public key cryptosystem. Journal of Computer Science and Technology 12(4), pp. 289–305 (1997).

15. Meskanen, T.: On finite automaton public-key cryptosystems. TUGS Technical Report 408, Turku Centre for Computer Science, Turku (2001).

16. Tao, R., Chen, S.: The generalization of public-key cryptosystem FAPKC4. Chinese Science Bulletin 44(9), pp. 784–790 (1999).

17. Rayward-Smith, V.J.: Mealy machines as coding devices. In: H.J. Beker and F.C. Piper, eds., Cryptography and Coding, Claredon Press, Oxford, 1989.

18. Atanasiu, A.: A class of coders based on gsm. Acta Informatica 29, pp. 779-791 (1992).

19. Gysin, M.: A one -key cryptosystem based on a finite nonlinear automaton, In: E. Daeson and J. Golic (Eds.), Cryptography. Policy and algorithms. LNCS 1029, Springer-Verlag, Belin, pp. 165–173, (1996).

20. Jyotirmie, P., Sekhar, A., Devi, S.: Application of Mealy machine and recurrences matrices in Cryptography. Journal of Computer Science and Management Research 2(6), pp. 1286–1290 (2013).

21. Gandhi, B., Sekhar, A., Srilakshmi, S.: Cryptographic scheme for digital signals using finite state machines. International Journal of Computer Applications 29(6), (0975-8887) pp. 61–63 (2011).

22. P. Dömösi, "A novel cryptosystem based on finite automata without outputs", In: M. Ito, Y. Koboyashi, and K. Shoji (eds.), Automata, Formal Languages and Algebraic Systems, World Scientific, p. 23-32, 2008.

23. P. Dömösi, "A novel stream cipher based on finite automata", In: IntelliSec – The 1st International Workshop on Intelligent Security Systems. Bucharest, Romania (November 11-14, 2009).

24. Kovacs, Z., Penzes, A.: An attack on Dömösi's cryptosystem. In: Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics. Vol. 1, pp. 311–317. Eger, Hungary (January 27-30, 2010).

25. ENT2008. A pseudorandom number sequence test program. http://www.fourmilab.ch/random

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

МЕТОД ИТЕРАТИВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

[1,2]Калижанова А.У., [1,3]Ахметов С.С., [2]Набиева Г.С.
e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru
[1]*Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан*
[2]*Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан*
[3]*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан*

Аннотация. *В работе рассматривается задача распределения информационных ресурсов по узлам вычислительной системы. Задачи распределения решаются на этапе проектирования информационных систем, а также в процессе реинжиниринга. Такие задачи относятся к классу блочно-симметричных задач дискретного программирования. Для решения сформулированной задачи разработан и предложен эффективный алгоритм итеративных отображений.*

Ключевые слова*: распределение информационных ресурсов, процесс реинжиниринга, дискретное программирование, блочно-симметричные задачи.*

В процессе проектирования информационных систем одной из важных задач является задача оптимального распределения информационных ресурсов в вычислительных системах. Такие задачи возникают при проектировании информационных систем на базе вычислительных систем и сетей (локальные, корпоративные и другие) [1-2].

Под информационными ресурсами понимается множество модулей прикладного программного обеспечения и взаимосвязанные с ними базы данных в процессе обработки.

Реинжиниринг компьютерных систем представляет собой перепроектирование и перераспределение информационных ресурсов в узлах вычислительной системы, а также топологии системы в условиях динамичного изменения бизнес-процессов, с целью улучшения показателей эффективности [3-4].

В процессе проектирования компьютерных систем необходимо рассматривать различные варианты их организации с дальнейшим перепроектированием для выбора оптимальной структуры системы. В процессе эксплуатации существующей системы изменяется число и состав прикладных программ, число и содержание элементов базы данных, что приводит к необходимости реинжиниринга таких систем. В связи с этим возникает необходимость разработки формализованных средств, моделей и методов проектирования и перепроектирования компьютерных систем, удовлетворяющих заданным требованиям.

На практике решается задача распределения информационных ресурсов по узлам вычислительных систем заданной структуры (рисунок 1), а в ряде случаев

необходимо определить оптимальное число каналов связи при заданных узлах обработки данных в вычислительных системах (рисунок 2).

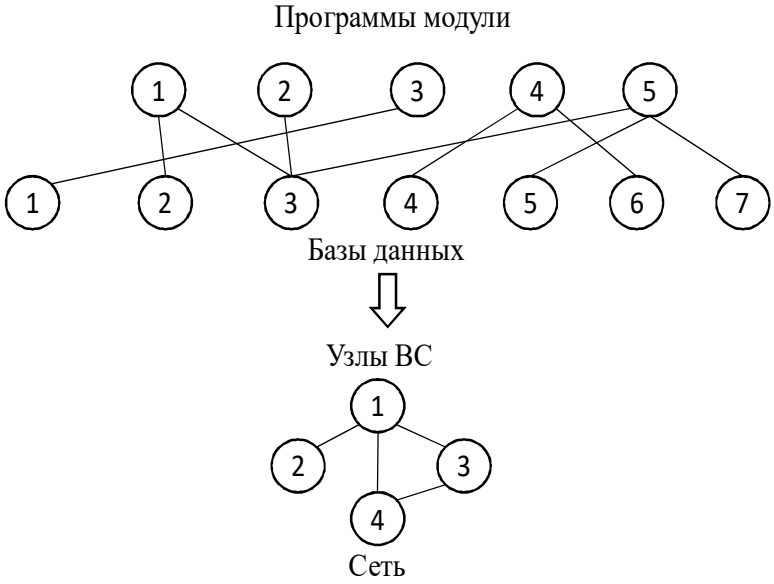


Рисунок 1 - Распределение по узлам заданной структуры

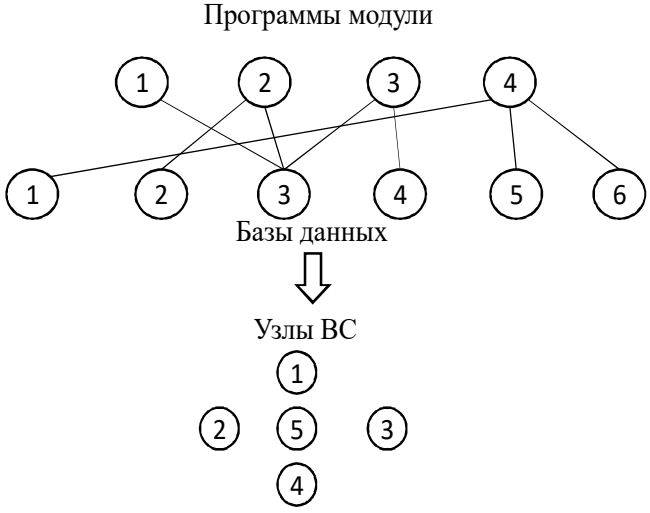


Рисунок 2 - Определение топологии ВС путем распределения по узлам

Рассмотрим задачу распределения информационных ресурсов по узлам вычислительной системы [5-7]:

Постановка задачи.

Пусть, $A=\{a_i; i=\overline{1,I}\}$ -множество прикладных программ решения функциональных задач компьютерных систем (КС), $B=\{b_j; j=\overline{1,J}\}$ - множество массивов базы данных (фрагментов базы данных), используемых в процессе решения прикладных задач. Матрица $W=\|\omega_{ij}\|$, ($\omega_{ij}=1$, если $j-й$ массив базы данных используется для решения $i-й$ задачи, $\omega_{ij}=0$, в противном случае) отражает использование массивов базы данных для решения прикладных задач компьютерных систем.

Структура компьютерной системы или комплекса задается матрицей $G=\|g_{mn}\|$, $m,n=\overline{1,M}$, где $g_{mn}=1$, если между узлами m и n существует канал передачи данных и $g_{mn}=0$, если между узлами m и n не существует канала связи.

Необходимо распределить прикладные программы и массивы базы данных по узлам вычислительной системы, чтобы минимизировать общее число передаваемых массивов по каналам связи при технологических ограничениях. Для математической постановки задачи введем следующие переменные

$$x_{mi}=\begin{cases}1, & \textit{если } i-\textit{ая прикладная программа распределения в } m-\textit{й узел КС};\\ 0, & \textit{в противном случае.}\end{cases}$$

$$y_{jn}=\begin{cases}1, & \textit{если } j-\textit{ый массив базы данных распределяется в } n-\textit{й узел КС};\\ 0, & \textit{в противном случае.}\end{cases}$$

Введем также вспомогательные переменные

$$\alpha_{mj}=\begin{cases}1, & \textit{если } \sum_{i=1}^{I} x_{mi}\ \omega_{ij}\geq 1;\\ 0, & \textit{если } \sum_{i=1}^{I} x_{mi}\ \omega_{ij}=0.\end{cases} \qquad (1)$$

Переменная α_{mj} отражает необходимость считывания $j-го$ массива базы данных $m-м$ узлом компьютерной системы.

$$\beta_{in}=\begin{cases}1, & \textit{если } \sum_{j=1}^{J} \omega_{ij}\ y_{jn}\geq 1;\\ 0, & \textit{если } \sum_{j=1}^{J} \omega_{ij} y_{jn}=0.\end{cases} \qquad (2)$$

Переменная β_{in} отражает необходимость использования массивов, размещённых на $n-м$ узле для решения $i-ой$ задачи.

Определим также переменную

$$z_{mn}=\begin{cases}1,\ если\ \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\alpha_{mj}\,\omega_{ij}\,g_{mn}\beta_{in}\geq 1;\\ 0, если\ \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\alpha_{mj}\,\omega_{ij}\,g_{mn}\,\beta_{in}=0.\end{cases} \quad (3)$$

Переменная z_{mn} отражает передачу данных между $m-м$ и $n-м$ узлами сети.

Общее число передачи по каналам связи, необходимых данных в процессе обмена информацией, определяется в виде

$$P=\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=m+1}^{M}z_{mn} \quad (4)$$

Введем также следующие обозначения t_i – время обработки $i-ой$ прикладной программы для случая одинаковой производительности узлов при реализации программ, θ_{mi} – время обработки $i-ой$ прикладной программы в $m-ом$ узле вычислительной сети для случая различной производительности узлов,

τ_{mj} – время передачи $j-го$ массива данных в $m-й$ узел,

ν_i – объем памяти, занимаемый $i-ой$ прикладной программой,

q_{mj} – объем $j-го$ массива данных, передаваемого в $m-й$ узел.

Задача реинжиниринга компьютерных систем в условиях, когда необходимо перепроектировать информационные ресурсы и распределить их в вычислительной системе заданной структуры формулируется следующим образом.

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=m+1}^{M}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}x_{mi}\,\omega_{ij}\,g_{mn}\,y_{jn}\rightarrow\min \quad (5)$$

при ограничениях на:

- дублирование задач в узлах вычислительных систем

$$\sum_{m=1}^{M}x_{mi}=1; \quad (6)$$

- дублирование массивов базы данных в узлах вычислительных систем

$$\sum_{n=1}^{M} y_{jn} = 1, \;\; j = \overline{1,J}; \tag{7}$$

- время обработки прикладных программ и передачи массивов базы данных в узле вычислительной системы.

$$\sum_{i=1}^{I} t_i x_{mi} + \sum_{j=1}^{J} \tau_{mj} \alpha_{mj} \le T_m, \; m = \overline{1,M} \tag{8}$$

- объем памяти, занимаемый прикладными программами и массивами базы данных в узле вычислительных систем

$$\sum_{i=1}^{I} v_i x_{mi} + \sum_{j=1}^{J} q_{mj} \alpha_{mj} \le V_m; \;\; m = \overline{1,M} \tag{9}$$

и ограничениях вида (1) - (4).

В зависимости от требований и динамики изменений могут использоваться и другие технологические ограничения.

В ряде случаев в процессе проектирования компьютерных систем возникает необходимость перепроектирования структуры вычислительной системы при заданных информационных ресурсах путем их перераспределения по узлам системы.

Задача формулируется следующим образом

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{n=m+1}^{M} z_{mn} \to \min.$$

При технологических ограничениях, определяемых процессом проектирования вычислительных систем.

Алгоритм решения.

Задача (5)-(9) и (1)-(4) относится к классу блочно-симметричных задач дискретного программирования [6,7].

Для решения сформулированной задачи разработан и предложен эффективный алгоритм итеративных отображений:

1) в булевой матрице W выделим подматрицу $Z = \left\| z_{ij} \right\|, \; j = \overline{1,I}; \; j = \overline{1,J}$ и определим ее как базис решения задачи;

2) определим базис в виде квадратной матрицы число строк и столбцов, которой равно числу узлов вычислительных систем;

3) определим матрицу $D = \|d_{mi'}\|,\ i' = \overline{1,I},\ m = \overline{1,M}$ направления поиска решения X путем логического сложения небазисных строк матрицы W со строками базиса и вычислим значения оценок только по позициям базиса;

4) в соответствии с полученными оценками осуществим распределение элементов множества A по подмножествам A_n. В результате зафиксируем решение X и промежуточную матрицу $\Pi = \|\pi_{mi}\|,\ m = \overline{1,M}, i = \overline{1,I}$;

5) определим матрицу $D = \|d_{j'n}\|,\ j' = \overline{1,J},\ n = \overline{1,M}$ направления поиска решения Y путем логического сложения небазисных столбцов промежуточной матрицы $\Pi = \|\pi_{mi}\|,$ со столбцами базиса и вычислим значения оценок только по позициям базиса матрицы П;

6) в соответствии с полученными оценками матрицы П распределим элементы множества B по подмножествам B_m . В результате фиксируем решение Y и целевую матрицу Z, на которой определено значение целевой функции P(Z);

7) результаты вычислительных экспериментов показали высокую эффективность разработанных алгоритмов.

Заключение

Задачи распределения информационных ресурсов решаются на этапе проектирования информационных систем, а также в процессе реинжиниринга.

Эффективное решение указанных задач позволит значительно сократить затраты на передачу данных между узлами системы, на число каналов связи и сократить время проектирования [7-8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Казиев Г.З. Синтез модульных блок-схем в автоматизированных системах управления// Автоматика и телемеханика – 1992.- С. 160-171. - №11.

2 Казиев Г.З., Набиева Г.С., Калижанова А.У., Даутова Б.М. Многокритериальные задачи дискретного программирования // Научный журнал Вестник Казахской головной архитектурно – строительной академии. - №1(47)/ - Алматы. 2013/ - С. 184-188.

3 Умеков А.К., Казиев Г.З., Абылхасенова Д.К. Методы реинжиниринга компьютерных систем // Международный научный журнал – приложение Республики Казахстан «Ізденіс –Поиск» серия естественных и технических наук. - №2(1). – 2013. - С.121-125.

4 Казиев Г.З., Умеков А.К. Методы проектирования структуры компьютерных систем в процессе реинжиниринга // Труды II Международной научной конференции «Высокие технологии – залог устойчивого развития». – Алматы: КАЗНТУ имени К.И.Сатпаева. 2013. - С.292-295.

5 Kaziev G.Z., Nabieva G.S., Kalizhanova A.U. Effective class of discreet programming problems // International Conference on Computer Science and Software Engineering (WASET), New York, U.S.A., June 05-06, 2013. - P.137-140.

6 Казиев Г.З., Набиева Г.С., Молдакалыкова А.Ж. Қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз ету мен деректер қорының массивтерін үлестірудегі дискретті бағдарламалаудың блокты-симметриялы есебі. // Международный научный журнал-приложение РК "Поиск". - №1(1). – Алматы. 2013. - С. 136-140.

7 Kaziyev G.Z., Nabiyeva G.S., Kalizhanova A.U. etc. Methods of automated systems decomposition at the stage of technical designing. // 2nd World Conference on Educational Technology Researches – WCETR2013 in Lefkosa (Nicosia) in North Cyprus, Procedia - Social and Behavioral Sciences. Volume 83. 4 July 2013. – P. 1039-1042.

8 Nabiyeva G., Kaziyev G., Kalizhanova A.U. etc. Development of models and methods for optimal allocation of information resources in computer systems. Proceedings of 6th World Conference on Educational Sciences, 2014. - P. 283-290. Valletta, Malta.

9 Nabiyeva G., Kaziyev G., Kalizhanova A., Kalenova B., Kartbayev T., Kozbakova A., Mukazhanov N. Multicriteria Problems of Information System Designing // Global Journal on Technology. -2013. - №3. - p.310-315.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МНОГОФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА GMRES

[1]Касымбек Н.М., [2]Маткерим Б., [3]Лебедев Д.В., [4]Иманкулов Т.С., [5]Ахмед-Заки Д.Ж.

e-mail: nuryslam.qassymbek@gmail.com

[1,2,4]*Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Казахстан,*
[3,5]*Университет Международного Бизнеса, Казахстан*

Аннотация. *В данной статье рассматривалось численное моделирование многокомпонентного многофазного течения в пористых средах. Записав закон сохранения массы для каждого компонента, получена система нелинейных уравнений, которая была линеаризована методом Ньютона-Рафсона и решался итерационным методом GMRES. Для достижения лучшей сходимости был использован предобуславливатель ILU(0). В результате, для численного решения данной задачи использовался полностью неявная схема, называемая алгоритмом Ньютона-ILU0-GMRES. Был разработан параллельный алгоритм с использованием технологии MPI. К тому же, были произведены сравнения времени выполнения программы собственной реализации и программы с использованием готовой библиотеки PETSc.*

Ключевые слова: *многокомпонентное многофазное течение, Метод Ньютон-Рафсона, метод GMRES, параллельное программирование, технология MPI.*

1 Введение

Развитие высокопроизводительных вычислений позволяет человечеству решать основные научные и прикладные проблемы в различных областях. Расчет таких задач на сетках с большим количеством ячеек требует больших ресурсов. Суперкомпьютеры могут, например, быть загружены задачами моделирования погоды и прогноза климата, экономическими процессами, акустическими задачами, гидродинамикой, производством медицинских препаратов, биологическими исследованиями. Технологические достижения в этих областях связаны с тем, насколько правильно и успешно используются компьютерные вычисления.

Использование суперкомпьютеров позволяет значительно ускорить решение задач при использовании численных методов. Одной из таких задач является прогноз добычи нефти и газа на конкретных месторождениях нефти и газа. Моделирование многокомпонентного многофазного течения жидкости (нефти и газа) в пористой среде (в нефтяных пластах) является актуальной и в то же время сложной задачей гидродинамического моделирования. Для решения таких задач используются различные методы и схемы [1-4], некоторые из которых являются итерационными методами для решения линейных систем [5-8].

Для ускорения научных расчетов используются различные технологии, такие как OpenMP [9,10], MPI [11,12], OpenCL [13], CUDA [14,15] и фрагментированное программирование [12,16].

В этой статье мы решаем систему уравнений с помощью метода Ньютона-Рафсона, на каждой итерации которой система алгебраических уравнений решается с помощью обобщенного метода минимальных невязок (GMRES) с предобуславливанием ILU(0). Параллельное приложение для решения этой задачи с помощью метода Newton-ILU(0)-GMRES реализовано с использованием технологии MPI, которая является основным инструментом при разработке параллельных программ для суперкомпьютеров.

2 Математическая модель и численный метод

Рассматриваемая модель многофазного многокомпонентного течения в пористых средах позволяет моделировать такие современные методы добычи углеводородов, как закачка теплоносителя в нефтяной пласт, сжигание, закачка химических реагентов (полимер, поверхностно-активное вещество) и другие.

Рассмотрим математическую модель многокомпонентного течения трехфазной жидкости в пористой среде. Запишем закон сохранения массы для каждого компонента [2,3]:

$$\frac{\partial(\phi\,\xi_\omega S_\omega)}{\partial t} + \nabla\cdot(\xi_\omega u_\omega) = q_\omega,$$

$$\frac{\partial(\phi[x_{mo}\xi_o S_o + x_{mg}\xi_g S_g])}{\partial t} + \nabla\cdot\left(x_{mo}\xi_o u_o + x_{mg}\xi_g u_g\right) = q_m \quad (1)$$

$$u_\alpha = -\frac{k_{r\alpha}}{\mu_\alpha}k(\nabla p_\alpha - \rho_\alpha g\nabla z),\ \alpha = \omega, o, g. \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^{N_c} x_{mo} = 1, \qquad \sum_{m=1}^{N_c} x_{mg} = 1. \quad (3)$$

$$S_\omega + S_o + S_g = 1. \quad (4)$$

$$p_{co\omega} = p_o - p_\omega\ , p_{cgo} = p_g - p_o. \quad (5)$$

$$f_{mo}(p_o, x_{1o}, x_{2o,} \dots, x_{N_c o}) = f_{mg}(p_g, x_{1g}, x_{2g}, \dots, x_{N_c g}), \quad (6)$$

$$f_{m\alpha} = p_\alpha x_{m\alpha}\varphi_{m\alpha}, m = 1,2, \dots, N_c, \alpha = o, g.$$

m=1.2,...,N_c, где $\xi_w -$ молярная плотность водной фазы, S_w, S_o,$S_g -$ насыщенность водной, нефтяной и газовой фаз, $q_w, q_m -$ молярные скорости потока воды и m-й компонент соответственно, f_{mo} и f_{mg} функции летучести.

Распределение химических компонентов в углеводородной фазе описывается методом K-значения [17]. Термодинамическое поведение жидкостей в пластовых условиях описывается уравнениями состояния Пенга-Робинсона [18].

Система нелинейных уравнений (1) - (6) была линеаризована методом Ньютона-Рафсона.

В (l+1)-м слое итерационного процесса Ньютона значение неизвестных обновляется по следующему закону [3]:

$$x_{mo}^{n+1,l+1} = x_{mo}^{n+1,l} + \triangle\, x_{mo}^{n+1,l+1}, \qquad m = 1,2, \dots, N_c - 1,$$
$$z_{mo}^{n+1,l+1} = z_{mo}^{n+1,l} + \triangle\, z_{mo}^{n+1,l+1}, \qquad m = 1,2, \dots, N_c - 1,$$
$$L^{n+1,l+1} = L^{n+1,l} + \triangle\, L^{n+1,l+1},$$
$$F^{n+1,l+1} = F^{n+1,l} + \triangle\, F^{n+1,l+1},$$
$$S^{n+1,l+1} = S^{n+1,l} + \triangle\, S^{n+1,l+1},$$
$$p^{n+1,l+1} = p^{n+1,l} + \triangle\, p^{n+1,l+1}.$$

Полученная система линейных уравнений (7) приводится к виду

$$Ax = b, \quad (8)$$

и решается итерационным методом GMRES [19], который является одним из популярных методов подпространств Крылова [20].

Чтобы уменьшить количество итераций метода, была использована предобуславливание - явная или неявная модификация системы линейных уравнений, позволяющая упростить ее решение. Одним из широко используемых методов поиска предобусловливателя является неполное LU-разложение (ILU) исходной матрицы A [21]. В результате для численного решения данной задачи для решения системы линейных уравнений (8) используется полностью неявная схема, называемая алгоритмом Ньютона-ILU0-GMRES, что означает сочетание метода Ньютона-Рафсона и алгоритма GMRES с предобуславливанием ILU0 для разработки надежных и эффективных алгоритмов.

3 Параллельный алгоритм

Для реализации параллельного алгоритма метода GMRES, нужно выяснить части вычислений, которые могут быть основой параллелизации.

Например, алгоритм GMRES состоит из следующих шагов:

а) Инициализация. Выбор x_0, вычисление $r = b - Ax_0$, решение $Pw = r$ и расчет $v_1 = \frac{w}{\|w\|_2}$

b) Итерации Арнольди. m шагов итераций, j=1,2,…,m. Конкретный алгоритм Арнольди выглядит следующим образом:

for i=1, ...,m
$Pw = Ax_i$
for k=1, ...,i
$h_{k,i} = (w, v_k)$
$w = w - h_{k,i}v_k$
$end\ k$
$h_{i+1,i} = \|w\|_2$
$v_{j+1} = \frac{W}{h_{i+1,i}}$
end i

c) Расчет приближенного решения $x^m = x^0 + Q_{n,m}y_m$. Здесь: y_m минимизация $\|\beta\xi - H_{m,m}y\|_2$; $Q_{n,k}$ матрица размера $n \times k$, вектор-столбец матрицы состоит из ортогональных векторов $v_1, v_2, \dots, v_k$, H_{mm} – Хессенбергова матрица.

d) Определение. Вычислить $r^m = b - x^m$, Остановить если условие сходимости выполнено, в противном случае выбрать $x^0 = x^m$ и вернуться к шагу a) для пересчета.

В данном алгоритме есть общие операции, такие как умножение матрицы на матрицу, умножение матрицы на вектор, умножение вектора на вектор и вычисление векторной нормы на этапах a), b) и c), эти операции могут быть реализованы параллельно с разделением данных.

На этапах a) и b) алгоритма GMRES в качестве предобусловливателя ILU0 использовался P, который был найден при разложении матрицы A с помощью алгоритма мелкозернистой факторизации ILU.

4 Существующие библиотеки

Выбранны нами метод GMRES реализован на некоторых библиотеках, таких как Intel MKL, MATLAB, PETSc. В данной работе рассматривался библиотека PETSc, так как в данном инструменте реализованы параллельные версии разных методов решения линейных и нелинейных уравнений.

PETSc (Portable, Extensible Toolkit for Scientific Computation) - переместимый, расширимый инструментарий для научных вычислений. В PETSc реализован метод GMRES, который был выбран в качестве решателя СЛАУ на каждой итераций Ньютон-Рафсона.

В ходе ознакомления было выявлено, что на PETSc нет возможности использовать предобуславливатель ILU в параллельной программе, вместо этого по умолчанию используется блочный предобуславливатель Якоби.

5 Результаты тестирования

5.1 Сравнение с библиотекой PETSc

Тесты и сравнение результатов работы собственной программы и программы с использованием библиотеки были проведены на локальном компьютере и показаны в нижеследующей таблице:

Таблица 1. Сравнение времени выполнения программ

Количество процессов	Собственная реализация, с	PETSc, с
np=1	6,11	3,21
np=2	35,64	52,45
np=4	23,24	128,13
np=8	36,18	277,25

Тесты проводились на матрице размерности 3000x3000, которая соответсвует случаю, когда количество узлов разностной схемы равнялось 500. Как видно из таблицы, при параллельных расчетах собственная реализация метода считает быстрее, чем программа с использованием PETSc.

5.2 Результаты тестирования параллельного алгоритма

Для оценки эффективности параллельной версии метода GMRES была реализована параллельная программа с использованием стандарта MPI. Испытания проводились на суперкомпьютере MVS-10P Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН, который включает в себя узлы с двумя процессорами Xeon X5450 и 8 ГБ оперативной памяти для каждого узла. Тестирование параллельной программы проводилось на матрицах, соответствующих случаям, когда количество узлов разностной схемы варьировалось в диапазоне от 500 до 8000. Параметры матрицы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Описание матриц

Матрицы	#1	#2	#3	#4	#5
Количество узлов	500	1000	2000	4000	8000
Размер матрицы A	3000x3000	6000x6000	12000x12000	24000x24000	48000x48000

Результаты теста показаны в таблице 3.

Таблица 3. Время выполнения параллельной программы

Матрица		#1	#2	#3	#4	#5
Последовательная программа	**np=1**	3,74	48,38	334,24	1 688,74	20 219,34
MPI	**np=8**	1,19	7,57	53,82	394,74	2 942,02
	np=64	2,59	12,03	64,16	389,68	2 565,59
	np=128	2,95	12,66	65,25	395,58	2 569,01
	np=256	4,39	17,29	82,75	450,28	2 798,32
	np=512	11,53	42,56	202,01	866,98	4 185,07

Как видно из результатов теста, на маленьких размерах параллельная программа получила самое короткое время выполнения на 8 процессах. По мере увеличения размера задачи параллельное приложение, работающее на 64 процессах, имеет самое короткое время вычислений, но оно не сильно отличается от времени выполнения параллельной программы, работающей на 8, 128 и 256 процессах. Это связано с тем, что с увеличением числа процессов время подсчета на каждом процессоре уменьшается, а время, затрачиваемое на коммуникации, увеличивается.

Можно увидеть, что время выполнения на 64 и 128 процессах примерно одинаковые. Это объяснятся тем, что на 64 процессах время коммуникаций меньше чем время вычислений, а в 128 процессах наоборот, но в сумме получаемые результаты сопостовимы.

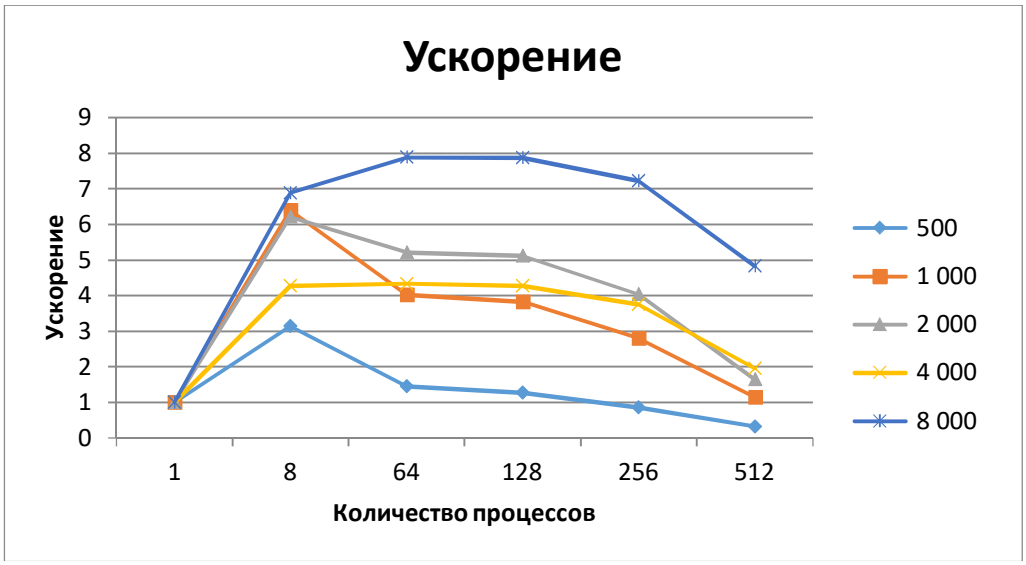


Рисунок 1. Ускорение параллельного алгоритма

На матрице #1 при 256 и 512 процессах параллельная программа считает медленне, чем последовательная. Но при увеличении размера задачи время выполнения параллельной программы уменьшается в соотношении с последовательной. Данная закономерность дает возможность прогнозировать что с увеличением размера матрицы, на больших количествах процессов ускорение тоже увеличивается. На рисунке 1 показано ускорение параллельной программы. Можно сделать вывод, что параллельный алгоритм метода имеет смысл запускать на большом количестве процессоров, только на больших размерах, которые не могут поместиться в память одного узла.

6 Заключение

Мы рассмотрели параллельную реализацию алгоритма Newton-ILU0-GMRES для многофазной многокомпонентной задачи фильтрации масла. Испытания проводились для разных размеров узла и количества процессов. Исследование показало, что на большом количестве процессов программу MPI лучше всего запускать на задаче большой размерности. В дальнейшем планируется рассмотреть другие варианты метода для улучшения эффективности параллельного алгоритма. В частности, планируется вместо итерации Арнольди рассмотреть другие варианты. Также планируется разработать фрагментированный алгоритм, что позволит не затрачивать время на реализацию коммуникаций.

Работа выполнена при поддержке комитета по финансированию науки Министерства образования и науки Казахстана, гранты №. AP05134651 и BR05236340

Литература

[1] Borisov V. E., Kritskiy B. V., Marchenko N. A., Mitrushkin D. A., Savenkov E. B. Non-isothermal compositional flow model with chemical reactions and active solid phase for reservoir simulation. KIAM Preprint № 91, Moscow, 2013.

[2] Chen, Z. Reservoir Simulation. Mathematical Techniques in Oil Recovery // Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007. — XXVIII, 219 p

[3] Chen Z., Huan G., Ma Y. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media // Siam, Southern Methodist University, Dallas, Texas 2006. 569 pp.

[4] Ahmed T. Reservoir Engineering Handbook. Gulf Professional Publishing, 3rd edition 2006. 1376 pages.

[5] RC Mittal, A Al-Kurdi, LU-decomposition and numerical structure for solving large sparse nonsymmetric linear systems, Computers & Mathematics with Applications, 2002 - Elsevier

[6] S. Lacroix YU. Vassilevski J. Wheeler M. Wheeler, Iterative Solution Methods for Modeling Multiphase Flow in Porous Media Fully Implicitly, SIAM J. SCI.COMPUT Vol. 25, No. 3, pp. 905–926,2003

[7] Wang Baohua, Wu Shuhong, Li Qiaoyun etc. Applications of BILU0-GMRES in reservoir numerical simulation, Acta Petrolei Sinica, Vol.34, No.5, 2013.

[8] Petr Vabishchevich, Maria Vasilyeva Iterative methods for solving the pressure problem at multiphase filtration Mathematics – Numerical Analysis, 2011

[9] Iryanto & Gunawan, P. H. (2017, May). An OpenMP parallel godunov scheme for 1D two phase oil displacement problem. In Information and Communication Technology (ICoICT), 2017 5th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.

[10] L.F. Werneck, M. Medeiros de Freitas, H.Guaraldi da Silva Jr, Grazione de Souza, H.P. Amaral Souto. An OpenMP Parallel Implementation for Numerical Simulation of Gas Reservoirs Using Intel Xeon Phi Coprocessor An OpenMP Parallel Implementation for Numerical Simulation of Gas Reservoirs. Proceedings of the XXXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering Suzana Moreira Avila (Editor), ABMEC, Brasılia, DF, Brazil, November 6-9, 2016.

[11] Sreekanth Pannala, Ed F. D'Azevedo, Madhava Syamlal, Thomas O'Brien. Hybrid (OpenMP and MPI) Parallelization of MFIX: A Multiphase CFD Code for Modeling Fluidized Beds.Conference. // Proceedings of the 2003 ACM Symposium on Applied Computing (SAC), March 9-12, 2003, Melbourne, FL, USA.

[12] Akhmed-Zaki, Lebedev, Perepelkin. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow ("oil–water–gas") numerical model in LuNA fragmented programming system. The Journal of Supercomputing. 2016

[13] Khramchenkov, E., & Khramchenkov, M. (2018). Numerical Model of Two-Phase Flow in Dissolvable Porous Media and Simulation of Reservoir Acidizing. Natural Resources Research, 27(4), 531–537.

[14] Zaza, A., Awotunde, A. A., Fairag, F. A., & Al-Mouhamed, M. A. (2016). A CUDA based parallel multi-phase oil reservoir simulator. Computer Physics Communications, 206, 2–16.

[15] McClure, J. E., Prins, J. F., & Miller, C. T. (2014). A novel heterogeneous algorithm to simulate multiphase flow in porous media on multicore CPU–GPU systems. Computer Physics Communications, 185(7), 1865–1874.

[16] Malyshkin, V.E., Perepelkin, V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem. Proceedings of the 11th International Conference on Parallel Computing Technologies, LNCS 6873. – pp. 53-61, Springer (2011)

[17] Pederson K.S., Christensen P.L. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids. – CRC Press, 2008. – 422 p.

[18] Peng D.-Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state // Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals. – 1976, – № 15. – P. 59–64.

[19] Saad Y, Schults M H. GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems [J]. SIAM J Sci Statist Comput, 1986, 7: 856-869.

[20] Y. Saad, Iterative methods for sparse linear systems. (2nd edn), SIAM, 2003

[21] R.C Mittal, A.H Al-Kurdi An efficient method for constructing an ILU preconditioner for solving large sparse nonsymmetric linear systems by the GMRES method, Computers & Mathematics with Applications, 2003

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГОНКИ ДЛЯ 2D УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

[1]Кенжебек Е.Г., [2]Иманкулов Т.С., [3]Маткерим Б., [4]Ахмед-Заки Д.Ж.
e-mail: kenzhebekyerzhan@gmail.com
[1,2,3]Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Казахстан
[4]Университет Международного Бизнеса

Аннотация. *В данной работе рассмотрена параллельная реализация метода прогонки для 2D уравнения теплопроводности с использованием технологий MPI. В работе приведена описания распараллеливания данной задачи с помощью метода Яненко при использований 1D и 2D декомпозиции данных. Полученные результаты тестирования представлены и проанализированы, на основании чего описаны особенности использованных декомпозиций.*

Ключевые слова*: высокопроизводительные вычисления, метод прогонки, метод Яненко, параллельные вычисления, MPI.*

Введение

В настоящее время все более широкое применение в различных отраслях науки находит моделирование процессов с помощью численного решения дифференциальных уравнений. Так как, к решению таких уравнений способствует развитие вычислительной техники и численных методов. Наиболее распространенные методы сводят дифференциальную задачу к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). К методам, решающие такие системы относят различные варианты прогонки.

Метод прогонки является прямым методом и привлекает своей простотой реализации в последовательном решении. Появление и развитие вычислительных систем, использующих многоядерные процессоры и графические ускорители, актуализирует задачу распараллеливания прогонки.

В данной работе приводятся описания численного решения уравнения теплопроводности и распараллеливания данной задачи для 1D и 2D декомпозиции с помощью метода Яненко, на втором этапе которого был использован метод правой прогонки. Так же приводятся особенности их реализации для работы на вычислительной системе.

Обзор литературы

В настоящее время многие задачи, описывающие физические процессы сводятся к необходимости численного решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Имеются многие работы о вопросах разрешимости и сходимости разностных схем, среди которой можно отметить работу [1]. Для нахождения решения таких СЛАУ используются такие методы, как метод прогонки и метод циклической редукции. Метод циклической редукции является более сложным в реализации, но на него меньше влияние, по сравнению с прогонкой, оказывают погрешности округления [2].

В настоящее время есть множество статей на данную тему. Среди них можно выделить следующие работы: в [3,4] предложен сочетание параллельной циклической редукции [5] и правой прогонки, чтобы обеспечить параллелизм и вычислительную сложность. В [6] работе предложен вычислительный решатель на основе алгоритма SPIKE [7]. В [8] работе сформулированы и проанализированы параллельные алгоритмы для решения СЛАУ методом встречных прогонок. Так же, известен метод, предложенный Н.Н. Яненко [9], который позволяет редуцировать исходную систему с большим числом неизвестных к системе с числом неизвестных, равным числу процессоров. Такая система, состоящая из параметрических гранично-процессорных точек, решается методом прогонки. Так же, можно применить такие методы, как метод встречной прогонки, метод параллельно-циклической редукции и параллельно конвейерный метод [10].

В работах [11-14] показано применение метода Яненко при реализации на вычислительной системе с графическими ускорителями. В работе [15] рассмотрено двухуровневое распараллеливание прогонки (на общей памяти средствами OpenMP и на распределенной памяти средствами MPI) для решения трехдиагональных систем, возникающих при моделировании двумерных и трехмерных физических процессов. А также, в данной работе подробно описан метод Яненко, параллельно-конвейерный метод и различные методы для второго этапа метода Яненко. В работе [16,17] показано сравнение параллельно-конвейерного метода и метода Яненко, на втором этапе которого использовалось метод правой прогонки, так же приведены результаты эффективности распараллеливания.

Параллельный алгоритм метода прогонки

Идея метода прогонки предложенным Яненко Н.Н. получила название параметрической прогонки. Метод параметрической прогонки Яненко реализуется с помощью распределения системы сеточных уравнений, где на границе процессорных элементов выделяются так называемые параметрические неизвестные.

Рассмотрим систему линейных уравнений следующего вида:

$$a_i x_{i-1} + b_i x_i + c_i x_{i+1} = d_i,\ i = 1, \dots, n-1, \qquad (1)$$

$$b_0 x_0 + c_0 x_1 = d_0,\quad a_n x_{n-1} + b_n x_n = d_n.$$

Пусть на каждом процессоре будет одинаковое количество точек $m = N/size$, где N – число неизвестных и $size$ – число процессоров. Таким образом, на процессоре с номером j будет находиться лишь часть уравнений системы (1) с номерами от $(j-1)*m+1$ до $j*m$, где j – номер процессора. Обозначим x_{j*m} через z_j и будем искать решение системы (1) в следующем виде:

$$x_{(j-1)*m+i} = u_i z_{j-1} + v_i z_j + w_i,\ i = 1, \dots, m-1,\ j = 1, \dots, size \qquad (2)$$

где u, v, w – решения следующих систем:

$$\begin{aligned} &a_i u_{i-1} + b_i u_i + c_i u_{i+1} = 0,\ u_{(j-1)*m} = 1,\ u_{j*m} = 0; \qquad j = 1, \dots, size, \\ &a_i v_{i-1} + b_i v_i + c_i v_{i+1} = 0,\ v_{(j-1)*m} = 0,\ v_{j*m} = 1; \\ &a_i w_{i-1} + b_i w_i + c_i w_{i+1} = d_i,\ w_{(j-1)*m} = 0,\ w_{j*m} = 0; \end{aligned} \tag{3}$$

$i = (j-1) * m\ + \ 1, \dots, j * m - 1.$

Решения этих трех систем можно найти методом прогонки, причем независимо на каждом процессоре. Будем называть этот этап решения задачи – этап нахождения предрешений.

В уравнения с номерами $j * m$ из системы (1) подставляем вместо x комбинации (2). Таким образом, получаем систему трехточечных уравнений для нахождения z_j имеющую следующий вид:

$$A_j z_{j-1} + B_j z_j + C_j z_{j+1} = D_j,\ j = 1, \dots, size - 1 \tag{4}$$

с коэффициентами:

$$B_0 = b_0 + c_0 u_1,\ \ C_0 = c_0 v_1,\ \ D_0 = d_0 - c_0 w_1$$

$$A_j = a_{j*m} u_{j*m-1},\ \ B_j = a_{j*m} v_{j*m-1} + b_{j*m} + c_{j*m} u_{j*m+1}$$

$$C_j = c_{j*m} v_{j*m+1},\ \ D_j = d_{j*m} - a_{j*m} w_{j*m-1} - c_{j*m} w_{j*m+1} \quad j = 1, \dots, size - 1,$$

$$A_{size} = a_{size*m} u_{size*m-1},\ \ B_{size} = b_{size*m} + a_{size*m} v_{size*m-1},$$

$$D_{size} = d_{size*m} - a_{size*m} w_{size*m-1}.$$

Будем называть этот этап этапом нахождения гранично-процессорных решений. Размерность этой системы уравнений равна количеству процессоров [15].

После нахождения гранично-процессорных решений восстанавливаем окончательное решение по формуле (2).

Метод Яненко содержит три этапа: 1) нахождения предрешений, 2) нахождения гранично-процессорных решений, 3) восстановление решения.

Данный вычислительный алгоритм обладает высокой степенью параллелизма, так как первый и третий этапы выполняются параллельно на каждом процессоре, но решение системы для параметрических неизвестных (4) выполняется последовательно только одним процессором и требует коммуникаций между MPI-процессами.

В данной работе для решения второго этапа метода Яненко, состоящая из гранично-процессорных точек, был использован метод правой прогонки.

Формулы для метода правой прогонки показано следующим образом:

$$\alpha_0 = -\frac{c_0}{b_0}, \quad \beta_0 = \frac{d_0}{b_0},$$

$$\alpha_i = -\frac{c_i}{b_i + \alpha_i \alpha_{i-1}}, \qquad \beta_i = -\frac{d_i - \alpha_i \beta_{i-1}}{b_i + \alpha_i \alpha_{i-1}}, \qquad i = 1, \dots, size - 1,$$

$$x_{size} = \frac{d_{size} - \alpha_{size} \beta_{size-1}}{b_{size} + \alpha_{size} \alpha_{size-1}}, \qquad x_i = \alpha_i x_{i+1} + \beta_i, \qquad i = size - 1, \dots, 0.$$

Реализация распараллеливания метода прогонки

Реализация на распределенной памяти была выполнена с использованием стандарта MPI. Как мы знаем, при решении двумерных задач, использующий метод продольно-поперечной прогонки возникает множество систем трехточечных уравнений. Для нахождения решений таких систем применяется метод Яненко, на втором этапе которого был использован метод правой прогонки. Данная задача была выполнена с одномерной и двумерной декомпозицией.

При использовании одномерной декомпозиции сеточная область разделяется на горизонтальные полосы (Рис. 1).

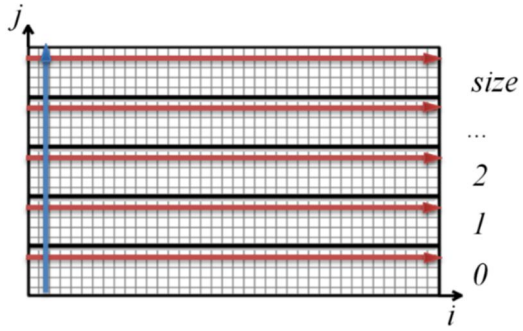


Рис. 1 Одномерная декомпозиция

Реализация прогонки состоит из двух дробных шагов. На Рисунке 1 первый дробный шаг обозначен красным цветом, а второй дробный шаг обозначен синим цветом. На первом дробном шаге, прогонка выполняется для каждой строки независимо на каждом MPI-процессе. Поэтому на первом дробном шаге пересылок между MPI-процессами при использовании метода прогонки не требуется. Однако на втором дробном шаге, где необходимо трехточечные уравнения решать по сеточным линиям $i = const$, мы используем метод Яненко.

Пример декомпозиции вдоль каждого направления прогонки показано на Рис. 2. Гранично-процессорные параметрические неизвестные, которые определяются на втором этапе метода Яненко обозначены зеленым цветом [18].

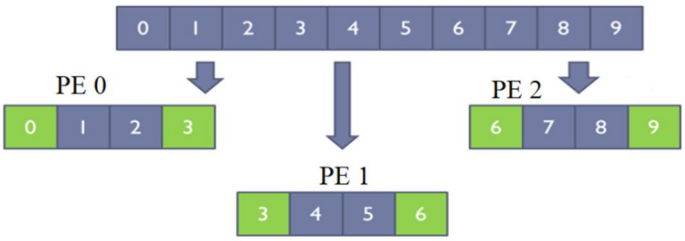


Рис. 2 Пример декомпозиции между тремя MPI-процессами

Второй этап метода Яненко требует дополнительных MPI-коммуникации. Для выполенения второго этапа, из каждого MPI-процесса с помощью функции MPI_Gather было собрано граничные элементы предрешений u, v, w. После последовательного нахождения гранично-процессорных решений на одном процессе с помощью метода правой прогонки, была выполнена широковещательная рассылка данных с помощью функции MPI_Bcast. Затем, каждый процесс имея свои параметрические граничные элементы и элементы предрешений u, v, w восстанавливает оканчательное решение.

В вычислительной системе с распределенной памятью при использовании двумерной декомпозиции, сеточная область разделяется на блоки (Рис. 3). Для этого мы построили двумерную декартовую топологию.

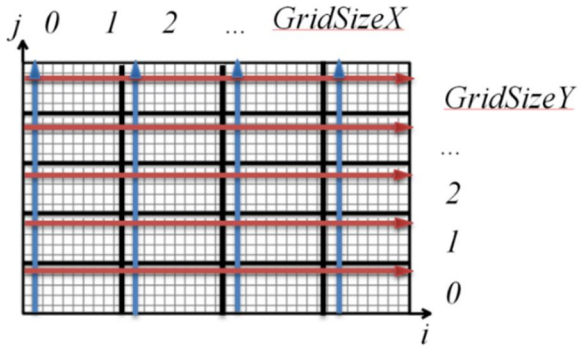


Рис. 3 Двумерная декомпозиция

На Рисунке 3 первый дробный шаг обозначен красным цветом, а второй дробный шаг обозначен синим цветом. На первом и втором дробном шаге, где необходимо трехточечные уравнения решать по сеточным линиям i и j, мы используем метод Яненко. То есть, вдоль каждого направления прогонки была вызвана функция метода Яненко. При использовании двумерной декомпозиции $GridSize$ – число MPI-процессов вдоль направления прогонки.

Численные эксперименты

В качестве тестовой задачи было взято двумерное уравнение теплопроводности следующего вида:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + f\right)$$

Функция следующего вида:

$$f = -3$$

Начальные условия:

$$U(x, y, 0) = x^2 + y^2$$

Граничные условия:

$$U(0,\ y, t) = y^2 + t$$
$$U(1,\ y, t) = 1 + y^2 + t$$
$$U(x,\ 0, t) = x^2 + t$$
$$U(x,\ 1, t) = 1 + x^2 + t$$

Результаты и обсуждения

Тестирование проведено на двумерной задаче теплопроводности с неявной схемой аппроксимации, где в каждом направлений сетки было взято 512, 1024, 2048, 4096 точек.

Тестирование проводилось на вычислительном кластере Новосибирского Государственного Университета (НГУ) [19]. В каждом вычислительном узле находилось 2 Intel Xeon CPU E5-2603 (4 вычислительных ядер в каждом).

При программной конфигурации был использован компилятор Intel C++ Compiler 15.0.2 (уровень оптимизации –O3). Следующие таблицы показывают усредненные значения времени, основанные на нескольких измерениях.

Таблица 1. Время выполнения параллельной программы для 1D декомпозиции

		Количество процессов			
Размер задачи	1	2	4	8	16
512×512	1,26	1,87	1,51	1,75	3,69
1024×1024	6,57	6,33	4,43	4,61	8,04
2048×2048	30,01	22,8	13,63	11,53	15,68
4096×4096	125,01	93,32	54,89	42,92	39,88

Таблица 2. Время выполнения параллельной программы для 2D декомпозиции

	Количество процессов					
Размер задачи	1	4	8	16	32	64
512×512	1,26	1,09	0,78	0,61	0,56	1,12
1024×1024	6,57	3,99	2,64	1,61	1,36	2,27
2048×2048	30,01	16,2	10,26	5,83	3,87	4,93
4096×4096	125,0	65,7	40,9	20,8	12,87	10,7

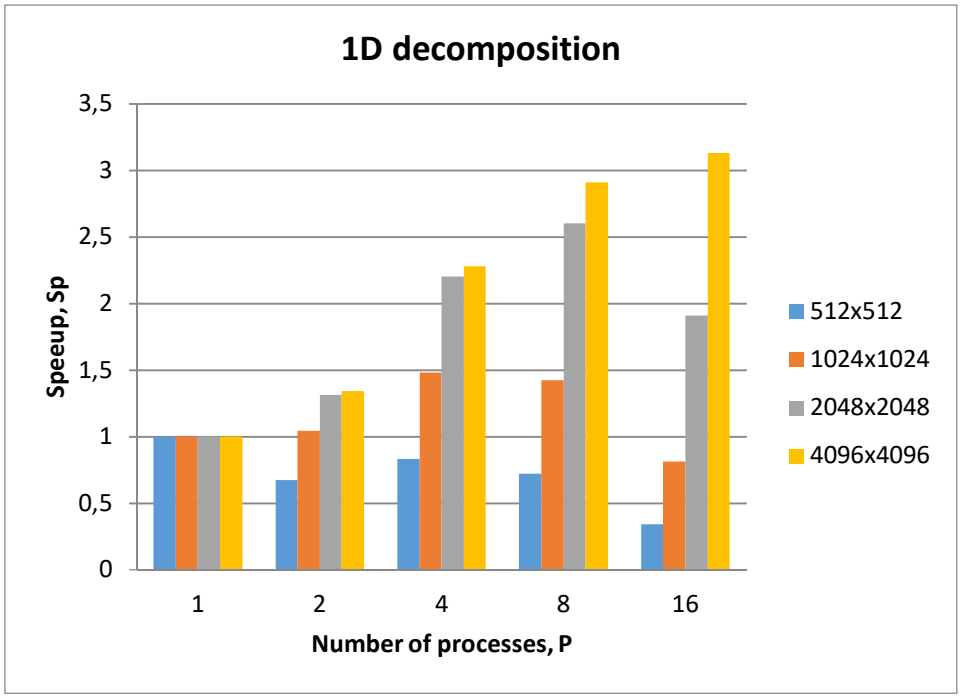


Рис. 4 Ускорение параллельной программы для 1D декомпозиции

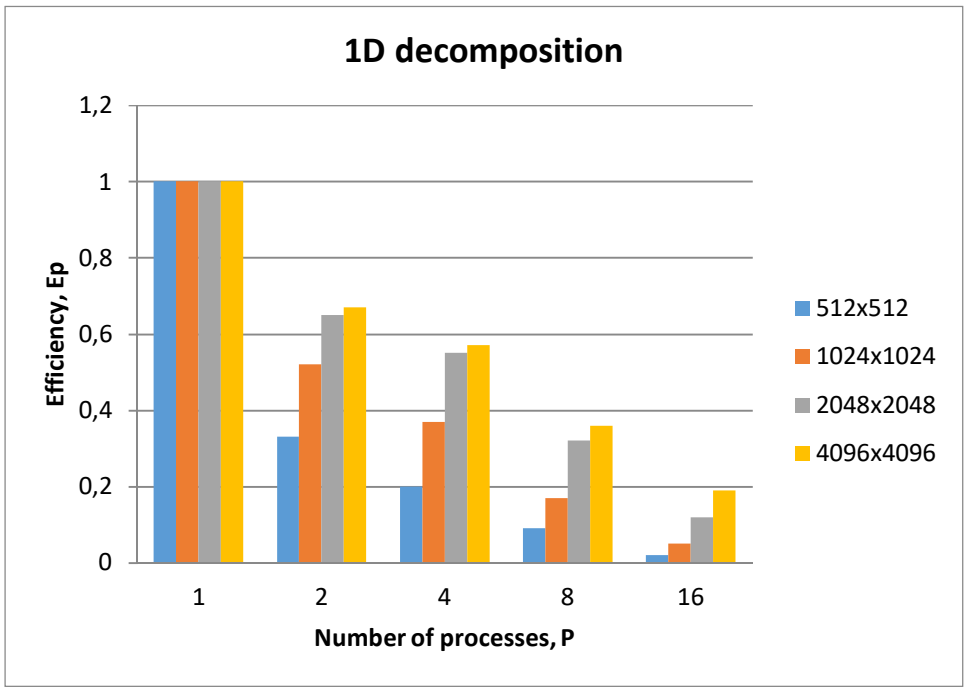


Рис. 5 Эффективность параллельной программы для 1D декомпозиции

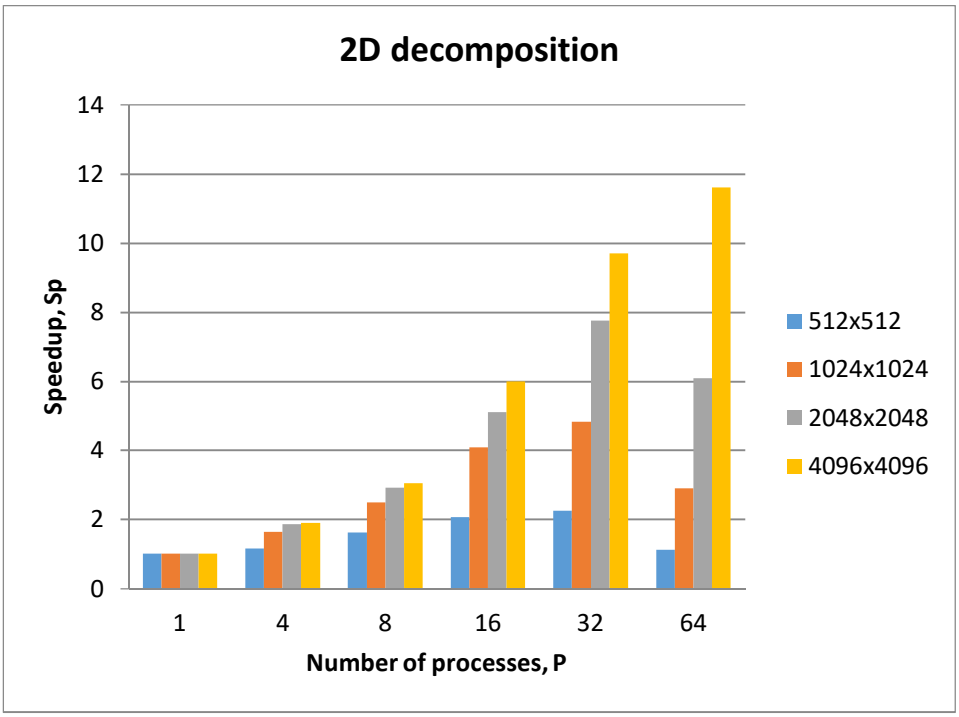


Рис. 6 Ускорение параллельной программы для 2D декомпозиции

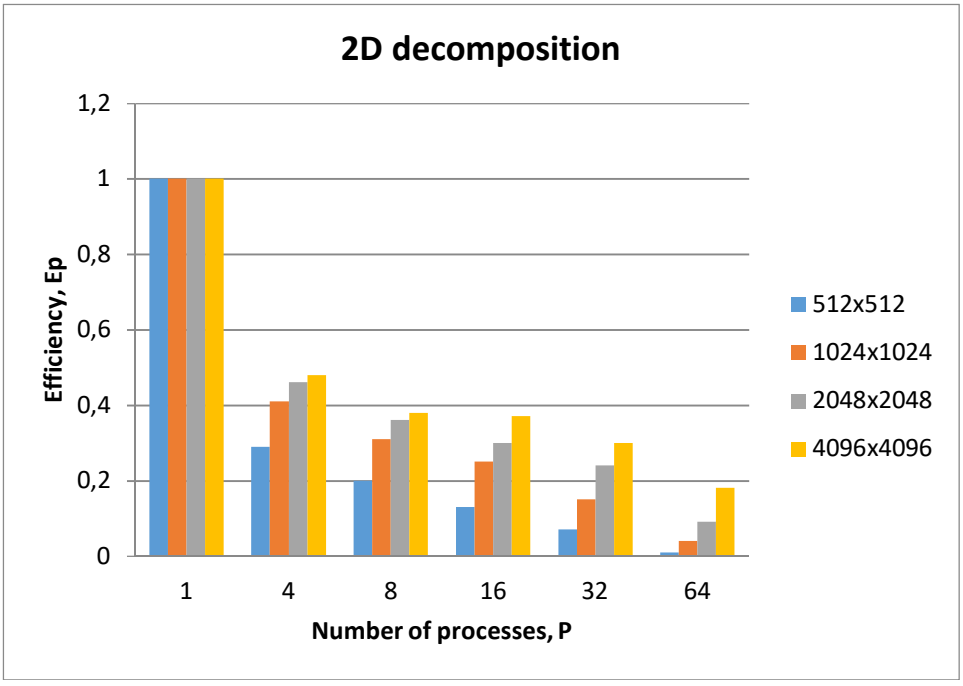


Рис. 7 Эффективность параллельной программы для 2D декомпозиции

На рисунках 4 и 6 представлены ускорение параллельных программ для 1D и 2D декомпозиции при разных количествах MPI-процессов. На этих рисунках можно

заметить, что на каждом процессе при увеличении количество точек задачи ускорение растет. Однако для 1D декомпозиции при использовании 16 MPI-процессов ускорение падает. Это объясняется тем, что при увеличении количество процессов необходимые коммуникационные затраты растут за счет второго этапа метода Яненко. Поэтому, для одномерной декомпозиции максимум используемых процессов было равно 16. А для 2D декомпозиции ускорение увеличивается до 64 MPI-процессов. Так как, при применении двумерной декомпозиции уменьшается число процессов вдоль каждого направления прогонки.

На рисунках 5 и 7 представлены эффективность параллельных программ для 1D и 2D декомпозиции при разных количествах MPI-процессов. Можно заметить, что при увеличении количество процессов эффективность снижается. Для одномерной декомпозиции хорошие показатели эффективности показаны при использовании 2 и 4 MPI-процессов. Для двумерной декомпозиции при увеличении числа MPI-процессов показатели эффективности более стабильны чем при использовании одномерной декомпозиции. Поэтому, при использовании двумерной декомпозиции задача была запущена до 64 процессов, что дает преимущество для оптимизации времени. Двумерная декомпозиция данных при больших сетках является более эффективным по сравнению с одномерной декомпозицией, так как при увеличении числа MPI-процессов в 1D декомпозиции, время выполнения работы второго этапа метода Яненко увеличивается за счет коммуникации между процессами. Например, если запустить задачу при использовании 16 MPI-процессов, на втором дробном шаге, при одномерной декомпозиции на втором этапе метода Яненко коммуникация выполняется между 16 MPI-процессами. А при использовании двумерной декомпозиции коммуникация происходит между 4 MPI-процессами вдоль каждого направления прогонки.

Заключение

Данная работа посвящена параллельной реализации метода прогонки для решения 2D уравнения теплопроводности. Численное решение двумерной задачи теплопроводности был решен с помощью метода продольно-поперечной прогонки. Реализован метод распараллеливание прогонки для решения уравнения теплопроводности с помощью метода Яненко при использовании 1D и 2D декомпозиции данных. В частности, при 2D декомпозиции, вдоль каждого направления прогонки был использован метод Яненко. Было выявлено, что параллельная программа для 1D декомпозиции является эффективным при использовании небольших MPI-процессов. А паралеллельная программа для 2D декомпозиции является более эффективным при использовании больших вычислительных систем для больших размеров задач.

В дальнейшем планируется:

- реализация для трехмерной задачи с 3D декомпозицией;
- распараллеливание второго этапа метода Яненко;
- применение алгоритма для решения задач нефтедобычи.

Литература

[1] Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений – М.: Наука, 1987. – С.130.

[2] Самарский А.А. Введение численные методы. – СПб.: Лань, 2005.

[3] Davidson A., Zhang Y., D. Owens J. An auto-tuned method for solving large tridiagonal systems on the GPU. Conference Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2011 IEEE International, 956-965

[4] Kim H.-S., Wu S., Chang L.-W., Hwu W.-M. A scalable tridiagonal solver for gpus. In Parallel Processing (ICPP), 2011 International Conference on. P. 444 –453.

[5] Hockney R. W., Jesshope C. R. Parallel computers: architecture, programming and algorithm. Hilger. Bristol. 1986. P. 274-280.

[6] Chang L.-W., Stratton J. A., Kim H.-S., Hwu W.-M. A scalable, numerically stable, highperformance tridiagonal solver using GPUs. High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC), 2012 International Conference for. IEEE Computer Society Press, 2012. 11 p.

[7] Polizzi E., Sameh A. A parallel hybrid banded system solver: The SPIKE algorithm // Parallel Computing. 2006. Vol. 32, No. 2. P. 177–194.

[8] Головашкин Д.Л. Применение метода встречных прогонок для синтеза параллельного алгоритма решения сеточных уравнений трехдиагонального вида. Журнал Компьютерная оптика, 2002

[9] Яненко Н.Н., Коновалов А.Н., Бугров А.Н., Шустов Г.В. Об организации параллельных вычислений и “распараллеливании” прогонки // Численные методы механики сплошной среды. 1978. Т. 9. №7. С. 139-146.

[10] Сапронов И.С., Быков А.Н. Параллельно-конвейерный алгоритм // Атом. 2009. № 44. С. 24- 25

[11] Быков А. Н., Ерофеев А. М., Сизов Е. А., Федоров А. А. Метод распараллеливания прогонки на гибридных ЭВМ // Вычислительные методы и программирование. 2013. Т. 14. Раздел 2. С. 43-47.

[12] Jeffers J., Reinders J. Iтеуд Xeon Phi Coprocessor High-Performance Programming. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco. 2013. 409 p.

[13] Goddeke D., Strzodka R. Cyclic reduction tridiagonal solvers on GPUs applied to mixed-precision multigrid // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2011. Vol. 22. P. 22–32.

[14] Старченко А.В., Берцун В.Н. Методы параллельных вычислений – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2013. С. 223.

[15] Федоров А. А., Быков А.Н. Метод двухуровневого распараллеливания прогонки для решения трехдиагональных линейных систем на гибридных ЭВМ с многоядерными сопроцессорами// Вычислительные методы и программирование. 2016. Т. 17. С. 234-244.

[16] Ильин С.А. Старченко А.В. Распараллеливание схемы покомпонентного расщепления для численного решения уравнения теплопроводности // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ’ 2015): Труды международной научной конференции (Екатеринбург, 31 марта – 2 апреля 2015 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 399-402.

[17] Быков А.Н., Веселов В.А., Воронин Б.Л., Ерофеев А.М. Методика РАМЗЕС-КП для расчета пространственных движений многокомпонентных теплопроводных сред в эйлерово-лагранжевых координатах. Вып. 13. Саров, 2008. С. 50–57.

[18] Кенжебек Е.Г. Алгоритм Яненко для одномерного уравнения теплопроводности. Алматы: Вестник КазНИТУ, 2019. С. 512-516.

[19] Информационно-вычислительный центр Новосибирского государственного университета. – http://nusc.nsu.ru/wiki/doku.php (10.08.19).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА УЧЕТА ЛОКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕНОВ В СТЕРЖНЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Кудайкулов А.К.[1], Ташев А.А.[1] ,Аршидинова М.Т.[2], Бегалиева К.Б.[2]
e-mail: mukaddas_arshidi@mail.ru, kudaykulov2006@mail.ru, azattash@mail.ru
[1]*Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН*
[2]*Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби*

Аннотация

Рассматривается установившееся термомеханическое состояние стержня ограниченной длины переменного сечения при одновременном наличии локальных поверхностных теплообменов, теплоизоляции и тепловых потоков. При исследовании стержня используется фундаментальные законы сохранения энергии и квадратичные сплайн функции в местной системе координат.

Ключевые слова

Удлинение, осевая сила, сечения, температура, перемещение, деформация, напряжение.

Введение

Рассматривается горизонтальный стержень ограниченной длины L[см] и переменного сечения $F(x)$[см^2]. Радиус сечения стержня меняется линейно по его длине, т.е. $r = ax + b$ [см], $(0 \le x \le L)$,где аи bпостоянные. Площадь поперечного сечения стержня меняется нелинейно по длине стержня следующим образом $F(x)=\pi r^2 =\pi(a^2x^2 +2abx+b^2)$ [см^2], $(0 \le x \le L)$.

Физико-механические свойства материала стержня характеризуется коэффициентами теплопроводности $K_{xx}[\frac{watt}{см\cdot{}^0K}]$, и теплового расширения $\alpha\,[\frac{1}{^0K}]$. Модулем упругости материала стержня $E[\frac{кГ}{см^2}]$. Предположим , что на площадь поперечного сечения левого конца стержня подведен тепловой поток постоянной

интенсивности $q_1[\frac{watt}{см^2}]$. В это время на площадь поперечного сечения правого конца стержня подводится тепловой поток интенсивностью $q_2[\frac{watt}{см^2}]$. Локальные боковые поверхности $(0 \le x \le L_1)$ и $(L_2 \le x \le L)$ исследуемого стержня теплоизолированы. Через локальную боковую поверхность $(L_1 \le x \le L_2)$ стержня происходит теплообмен с окружающей этой поверхности средой. При этом коэффициент теплообмена $h[\frac{watt}{см^2 {}^0K}]$, а температура окружающей среды $T_{ос}[^0K]$, необходимо определить поле распределения температуры, трех составляющих деформаций, напряжений и перемещения.

Расчетная схема задачи приводится на рисунке 1.

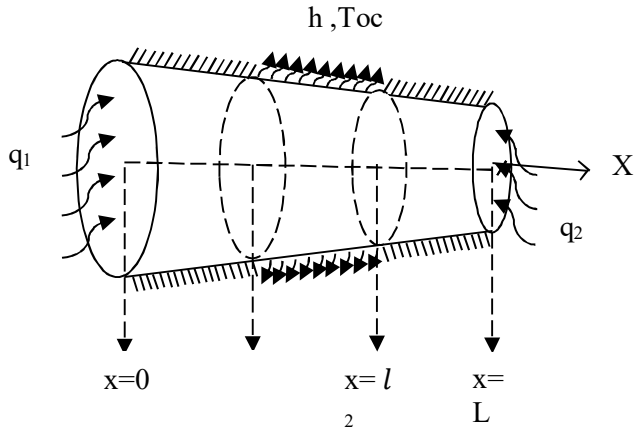


Рис.1 Расчетная схема задачи

Построение квадратичной сплайн функции в локальной системе координат

Исследуемый стержень переменного сечения и ограниченной длины дискретизируем элементами длиной l=L/n[см] [1,4]. При этом n – число дискретных элементов в стержне. Здесь, естественно l<<L. Рассмотрим поле распределения температуры по длине одного дискретного элемента длиной l[см].

В локальной системе координат $(0 \le x \le l)$ сечение с координатой x=0, обозначим через i. Аналогично, сечение с координатой x=l/2, обозначим через j. Наконец, сечение с координатой x=l, обозначим через k. Значения температуры в узлах i,j,k обозначим соответственно T_i, T_j и T_k. Закон распределения температуры по длине одного дискретного элемента аппроксимируем полным полиномом второго порядка, т.е.

$$T(>c) = C_1x^2 + C_2x \quad + C_3, (0 \le x \le l) \qquad (1)$$

здесь C_1, C_2 и C_3 постоянные.

При вышепринятых обозначениях можно построить следующую систему для определения значений постоянных C_1, C_2 и C_3.

$$\begin{cases} T(x=0) = C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 0 + C_3 = T_i \\ T(x=\frac{l}{2}) = C_1 \cdot \frac{l^2}{4} + C_2 \cdot \frac{l}{2} + C_3 = T_j \\ T(x=l) = C_1 l^2 + C_2 \cdot l + C_3 = T_k \end{cases} \quad (2)$$

Отсюда находим, что

$$C_3 = T_i, C_2 = \frac{4T_j - T_k - 3T_i}{l}, C_1 = \frac{2}{l^2}(T_i - 2T_j + T_k) \quad (3)$$

Далее подставляя (3) формулу в (1) получим

$$T(x) = \frac{2x^2 - 3lx + l^2}{l^2} T_i + \frac{4lx - 4x^2}{l^2} T_j + \frac{2x^2 - lx}{l^2} T_k, \ (0 \le x \le l) \quad (3)$$

Здесь введем следующие обозначения:

$$\varphi_i(x) = \frac{2x^2 - 3lx + l^2}{l^2}; \ \varphi_j(x) = \frac{4lx - 4x^2}{l^2}; \ \varphi_k(x) = \frac{2x^2 - lx}{l^2}; \ (0 \le x \le l) \quad (4)$$

Эти функции назовем квадратичными сплайн функциями в местной системе координат $(0 \le x \le l)$[2].

Так же следует отметить, что имеет место

$$\varphi_i(x) + \varphi_j(x) + \varphi_k(x) = 1; \quad \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_k}{\partial x} = 0; \quad (5)$$

Эти свойства квадратичных сплайн функций обеспечивает непрерывность искомых функций при переходе от дискретного элемента к соседнему.

Пользуясь выражениями (6) перепишем (4) в следующий вид:

$$T(x) = \varphi_i(x) T_i + \varphi_j(x) T_j + \varphi_k(x) T_k, \ (0 \le x \le l) \quad (6)$$

Аналогично, поле перемещения в пределах длины одного дискретного элемента будет иметь следующий вид

$$U(x) = \varphi_i(x) U_i + \varphi_j(x) U_j + \varphi_k(x) U_k, \ (0 \le x \le l) \quad (7)$$

где, $U_i, U_j, U_k \ldots$ - перемещение сеченийi, j, k.

Построение функционалов полной тепловой энергии для дискретных элементов стержня переменного сечения.

Рассмотрим дискретные элементы исследуемого стержня переменного сечения с лева на право. Сначала рассмотрим первый дискретный элемент, с левого конца стержня (рисунок- 3)

Для этого элемента функционал полной тепловой энергии имеет следующий вид [6-9]

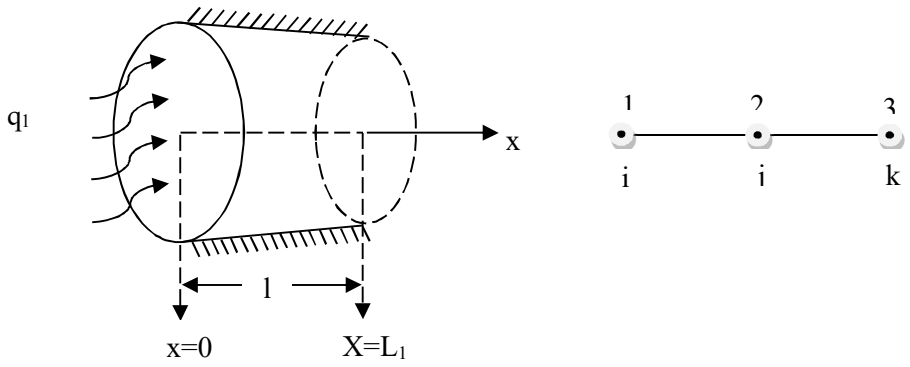


Рис.2 Первый дискретный элемент исследуемого стержня

$$J_1 = \int\limits_{F(x=0)} q_1 T ds + \int\limits_{V_1} \frac{K_{xx}}{2} (\frac{\partial T}{\partial x})^2 dv \ , (0 \le x \le l) \tag{8}$$

Для первого дискретного элемента к локальным номерам i,j,k соответствуют глобальная нумерация узлов 1,2 и 3.

Тогда, для первого дискретного элемента исследуемого стержня имеет место

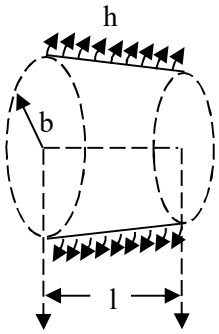
$$T_i = T_1; T_j = T_2; T_k = T_3;$$

Здесь 2 и 3 узлы являются внутренними. Теперь, с учетом физических законов интегрируем выражение (11). Для первого элемента этого выражения имеем

$$J_{11} = \int\limits_{F(x=0)} q_1 T ds = F(x=0) \cdot q_1 T_i = \pi b_1^2 q_1 T_1 \tag{9}$$

где $b_1 = r(x=0) = a \cdot 0 + b = b$

Теперь рассмотрим второй дискретный элемент, через боковые поверхности которого происходит теплообмен с окружающей средой (рисунок 3).



b_2=al+b;

Рис.3 Второй дискретный элемент

Функционал полной тепловой энергии для второго дискретного элемента будет следующим [12]

$$J_2 = \int_{V_2} \frac{K_{xx}}{2} (\frac{\partial T}{\partial x})^2 dv + \int_{S_{пбп\,2}} \frac{h}{2} (T - T_{oc})^2 ds \qquad (10)$$

где, V_2 – объем второго дискретного элемента, $S_{пбп2}$ – площадь боковой поверхности второго дискретного элемента.

Теперь переходим к третьему дискретному элементу. Боковая поверхность этого элемента теплоизолирована. На площадь поперечного сечения левого конца подведем тепловой поток интенсивностью q_2. Рисунок -4.

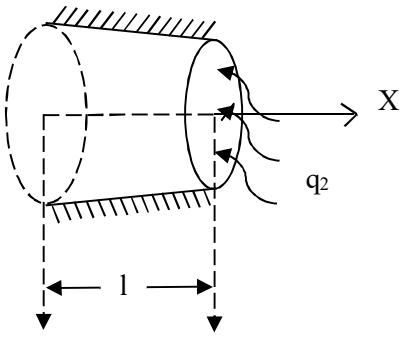


Рис.4 Третий дискретный элемент

Для третьего дискретного элемента функционал полной тепловой энергии имеет следующий вид

$$J_3 = \int_{V_3} \frac{K_{xx}}{2} (\frac{\partial T}{\partial x})^2 dv + \int_{F(x=L)} q_2 T ds \qquad (11)$$

где, V_3 – объем второго дискретного элемента , F(x=L) – площадь поперечного сечения правого конца стержня. F(x=L)=F(x=3l)= $\pi(al+b)^2=\pi(3al+b)^2$

Тогда функционал полной тепловой энергии для исследуемого стержня по узловым значениям температур T_i ,(i=1-7), построим разрешающую систему линейных алгебраических уравнений с учетом естественных граничных условий.

$$J = J_1 + J_2 + J_3 \tag{12}$$

Далее минимизируя этот функционал по узловым значениям температурT_i,(i=1-7), построим разрешающую систему линейных алгебраических уравнений с учетом естественных граничных условий [10].

Решая эту систему определяются узловые значения температуры T_i ,(i=1-7). По ним строится закон распределения температуры по длине исследуемого стержня следующим образом:

Для первого участка стержня

$$T(x)=\varphi_i(x)T_1+\varphi_j(x)T_2+\varphi_k(x)T_3, \quad (0 \le x \le l) \tag{13}$$

Для второго участка стержня

$$T(x)=\varphi_i(x)T_3+\varphi_j(x)T_4+\varphi_k(x)T_5, \quad (0 \le x \le l) \tag{14}$$

Наконец для третьего участка стержня имеем

$$T(x)=\varphi_i(x)T_5+\varphi_j(x)T_6+\varphi_k(x)T_7, \quad (0 \le x \le l) \tag{15}$$

Численное решение задачи

Для иллюстрации вышеописанного метода и вычислительного алгоритма рассмотрим задачу со следующими исходными данными:

$\mathrm{L} = 30$ см; $l = \frac{L}{3} = 10$см; $a = -\frac{1}{30}$; $b = 2$см; $b_2 = \frac{5}{3}$см; $b_3 = \frac{4}{3}$см;
$K_{xx} = 100\frac{W}{\text{см°C}}$; $\alpha = 125 \times 10^{-7}\frac{1}{°C}$; $E = 2 \cdot 10^6\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$; $q_1 = q_2 = -500\frac{W}{\text{см}^2}$;
$h = 10\frac{W}{\text{см}^2\text{°C}}$; $T_{oc} = 30$°C;

При этих исходных данных видно, что исследуемый стержень дискретизируетсятремя дискретными элементами одинаковой длины. При этом боковые поверхности первого и третьего дискретных элементов полностью теплоизолированы. В то время через боковую поверхность второго элемента

происходит теплообмен с окружающей средой. На площадь поперечных сечений двух концов стержня подведены тепловые потоки одинаковой интенсивности.

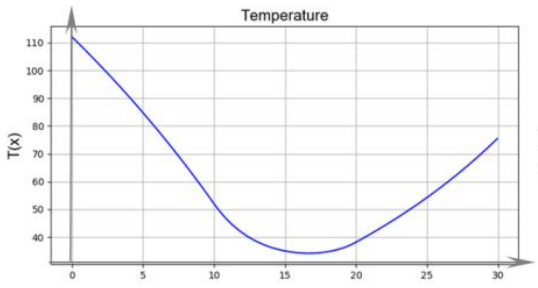


Рис. 5 Зависимости температуры T по длине стержня

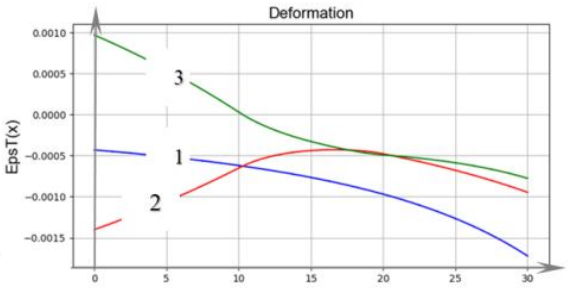


Рис.6 Зависимости деформации по длине стержня
$1 - \varepsilon(x)$; $3 - \varepsilon_x(x)$; $2 - \varepsilon_T(x)$

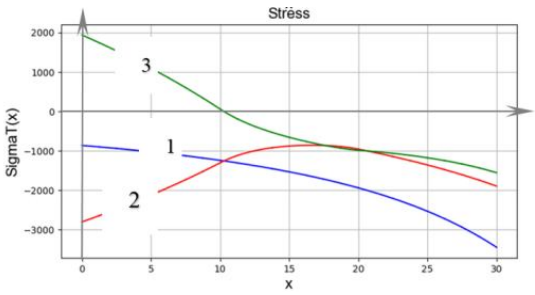


Рис.7 Зависимости напряжении по длине стержня
$1 - \sigma(x)$; $3 - \sigma_x(x)$; $2 - \sigma_T(x)$

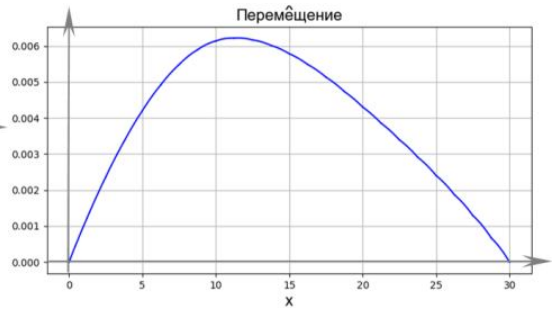


Рис.8 Зависимости перемещении по длине стержня

Выводы

На основе фундаментальных законов сохранения энергии в сочетании квадратичных сплайн функций разработаны метод, вычислительный алгоритм и программное обеспечение на Python для полного исследования установившегося термо-напряженно-деформированного состояния стержня переменного сечения при одновременном наличии локальных тепловых потоков, теплообмена и теплоизоляции. При конкретных исходных данных вычислены величины удлинения стержня в случае свободного одного конца. В случае защемления двух концов стержня определены законы распределения температуры, термоупругих температурных и упругих составляющих деформаций, напряжений, а также перемещения. Вычислена величина возникающего осевого усилия. Выявлены соответствующие закономерности, и они так же обусловлены физическими законами.

Все полученные решения удовлетворяют фундаментальные законы сохранения энергии, поэтому отличаются высокой точностью. Предполагается, что разработанные методы, вычислительный алгоритм и пакет прикладных программ на

Python будут полезными при проектировании энергетических установок, двигателей внутреннего сгорания, реактивных двигателей.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Казахстана в рамках грантового финансирования научных исследований на 2018-2020 годы по проекту № AP05131093 «Математическое и компьютерное моделирование нелинейных термо-физических процессов в стержнях переменного сечения»

Литература

1. Larry J. Segerlind. Applied Finite Element Analysis. - Jhon Willey and Sons,Inc. NewYork/London/Sydney/Toronto,1976.- 392p.
2. Carslaw H.S., Jaeger J.C. Conduction of Heat in Solids. Oxford University Press, London,1986 -526 p.
3. Timoshenko S., Goodyear J. N. Theory of Elasticity. – McGRAW-Hill. Book. Company. Inc., 1987. – 567 p.
4. Zienkiewicz O.C. The method in Engineering science. Butterworth-Heinemann. - Oxford-Auckland-Boston-Johannesburg-Melburne-New Delhi, 2000. – 690p.
5. Maugin, G.A. The saga of internal variables of state in continuum thermo-mechanics // Mechanics Research Communications - 2015. - P.79.
6. Tashenova, Z.Nurlybaeva, E.Kudaykulov,A.Method preparation and solution algorithm for resolving stationary problem of a rod under thermo - stressed condition restrained at both ends affected by heat exchange and heat flows //2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science, ICAMMS 2012; Beijing; China.
7. Kudaykulov A., Zhumadillayeva A. Numerical simulation of temperature distribution field in beam bulk in the simultaneous presens of heat insulation, heat flux and heat exchange // Actaphysicapolonica A, 2016. – P. 335-336.
8. MuheyatNiyazbek, KuenssauleTalp, Kudaykulov A.K. Computer and Mathematical Modeling of Thermomechanical Processes in Element of Constructions. ActaScientiarumNaturaliumUniversitatisNankaiensis, Vol50 . № 3. 2017, Tianjin, China.
9. KudaykulovA.,Tashev, A.A., Askarova, A.A computational algorithm and the method of determining the temperature field along the length of the rod of variable cross section //Open Engineering, 8(1), 2018. – P . 170-175.
10. Krieth, F.Principles of Heat Transfer, 3-rd ed.. . Index Educational Publishers, N. Y. 1977.- 320p.
11. Biot, M.A.Thermoelasticity and irreversible thermodynamics // Journal of Applied Physics, 27 (3), 1956.- P.240-253.
12. Presley, M.A., Christensen, P.R.Thermal conductivity measurements of particulate materials 1. // Journal of Geophysical Research E: Planets, 102 (E3). 1997. – P. 6535-6549.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ В РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МАССИВОВ

Мансурова М.Е., Мукимбеков М.Ж., Накибаева М.Т.
mansurova.madina@gmail.com , m.mukim@gmail.com, m.nakibaeva@gmail.com
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Аннотация

В данной работе рассматривается трехмерная задача двухфазной фильтрации для моделирования процесса нагнетания воды в нефтяной пласт в системе нагнетательных и добывающих скважин. Строится вычислительный алгоритм. Для уменьшения вычислительного времени вычислительный алгоритм распараллеливается. Производится анализ расчетов.

Постановка задачи

В условиях быстрого развития нефтяной отрасли остро встает вопрос о качественном анализе эффективности разработки нефтяных объектов с применением современных методов математического и компьютерного моделирования пластовых процессов, и высокопроизводительных вычислительных технологий. Для увеличения нефтеотдачи применяют вторичные методы, которые позволяют улучшить физические, фильтрационно-емкостные характеристики нефтяного пласта [1-6]. К таким методам относятся тепловой метод воздействия, а именно нагнетание воды с регулируемой температурой.

Рассматриваемая в работе трехмерная математическая модель теплового метода воздействия на нефтяной пласт с учетом произвольного расположения фонда нагнетательных и добывающих скважин, основана на неизотермической двухфазной фильтрации Маскета-Леверетта.

Математическая модель имеет следующий вид:

$$m\frac{\partial(\rho_B s_B)}{\partial t} + div(\rho_B \overline{W}_B) = \sum_{i=1}^{N_1} Q_{B,ni}\delta(x-x_{ni}, y-y_{ni}, z-z_{ni}) - \sum_{i=1}^{N_2} Q_{B,\partial i}\delta(x-x_{\partial i}, y-y_{\partial i}, z-z_{\partial i}), \quad (1)$$

$$m\frac{\partial(\rho_H s_H)}{\partial t} + div(\rho_H \overline{W}_H) = \sum_{i=1}^{N_2} Q_{Hi}\delta(x-x_{\partial i}, y-y_{\partial i}, z-z_{\partial i}), \quad (2)$$

$$\overline{W}_B = -k\frac{f_B}{\mu_B}(\nabla p_B - \rho_B g), \quad (3)$$

$$\overline{W}_H = -k\frac{f_H}{\mu_H}(\nabla p_H - \rho_H g)$$

$$p_H - p_B = p_{kap}(s_B, T), \tag{4}$$

$$s_B + s_H = 1, \tag{5}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[(m\, s_B c_B \rho_B + m\, s_H c_H \rho_H + (1-m)c_П \rho_П)T] +$$

$$+ div[(\rho_B c_B \overline{W}_B + \rho_H c_H \overline{W}_H)T] = div[m(s_B \lambda_B + s_H \lambda_H) + (1-m)\lambda_П)\nabla T] +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_1} Q_{тепло,нi}\delta(x - x_{нi}, y - y_{нi}, z - z_{нi}) - \sum_{i=1}^{N_2} Q_{тепло,дi}\delta(x - x_{дi}, y - y_{дi}, z - z_{дi}). \tag{6}$$

Здесь s_B, s_H - насыщенность воды и нефти соответственно; p_B, p_H - давление воды и нефти соответственно; T - температура пласта; k - абсолютная проницаемость пласта; m - пористость пласта; ρ_B, ρ_H - плотность воды и нефти соответственно; f_B, f_H - относительные фазовые проницаемости воды и нефти соответственно; μ_B, μ_H - вязкость воды и нефти соответственно; $c_B, c_H, c_П$ - коэффициент теплоемкости воды, нефти и породы соответственно; $\lambda_B, \lambda_H, \lambda_П$ - коэффициент теплопроводности воды, нефти и породы соответственно; $Q_{B,нi}$, $Q_{B,дi}$ -приведенные дебиты воды на нагнетательных и добывающих скважинах соответственно; Q_{Hi} - приведенные дебиты нефти на добывающих скважинах; $Q_{тепло,нi}$, $Q_{тепло,дi}$ - приведенные расходы количества тепла на нагнетательных и добывающих скважинах соответственно; $(x_{нi}, y_{нi}, z_{нi})$ - координаты i-ой нагнетательной скважины; $(x_{дi}, y_{дi}, z_{дi})$ - координаты i-ой добывающей скважины; N_1, N_2 - количество нагнетательных скважин и добывающих скважин соответственно.

В качестве начальных условий берутся начальные распределения давления нефти и температуры пласта; осредненные по мощности насыщенности воды, нефти в начальный момент времени:

$$(p_H, T)\big|_{t=0} = (p_H^0, T^0),$$

$$(s_B, s_H)\big|_{t=0} = (s_B^0, s_H^0). \tag{7}$$

На границах области течения задаются следующие условия:

$$(\overline{\overline{W_B}}\,\overline{n};\overline{\overline{W_H}}\,\overline{n})\Big|_{\Gamma}=0,\ \ (\frac{\partial T}{\partial n}+\alpha T)\Big|_{\Gamma}=\alpha T_{\infty}. \tag{8}$$

В работе строится параллельный, вычислительный алгоритм для решения данной задачи на вычислительном кластере и производится анализ результатов.

Вычислительный алгоритм

Для решения данной задачи преобразуем нашу систему, т.е. приведем уравнения (1) и (2) в вид для удобной численной реализации.

Так как

$$\rho_B=\rho_B^0 e^{(\beta_{PB}(p_B-p^0)-\beta_{TB}(T-T^0))},$$

$$\rho_H=\rho_H^0 e^{(\beta_{PH}(p_H-p^0)-\beta_{TH}(T-T^0))}, \tag{9}$$

$$p_{kap}(s_B,T)=\gamma(T)\sqrt{\frac{m}{k}}J(s_B),$$

где $\rho_B{}^0$ - начальная плотность воды,

$\rho_H{}^0$ - начальная плотность нефти,

β_{PB} - коэффициент сжимаемости воды,

β_{PH} - коэффициент сжимаемости нефти,

β_{TB} - коэффициент термического расширения воды,

β_{TH} - коэффициент термического расширения нефти,

p^0 - начальное давление пласта,

T^0 - начальная температура пласта,

γ - коэффициент поверхностного натяжения,

J - функция Леверетта.

Здесь,

$$\nabla p_B=\nabla p_H-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\nabla s_B-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\nabla T. \tag{10}$$

Так как $p_H-p_B=p_{kap}(s_B,T)$, используя соотношение $s_B+s_H=1$, из уравнений (1), (2), раскладывая члены по компонентам, получаем итоговое уравнение для давления нефти:

$$m(\beta_{PB}(\frac{\partial p_H}{\partial t}-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial t}-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial t})-\beta_{TB}\frac{\partial T}{\partial t})s_B+m(\beta_{PH}\frac{\partial p_H}{\partial t}-\beta_{TH}\frac{\partial T}{\partial t})s_H-$$

$$-\frac{1}{\rho_B}k_x\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial x}\frac{\partial p_H}{\partial x}+\frac{1}{\rho_B}k_y\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial x}\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial x}+\frac{1}{\rho_B}k_z\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial x}\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial x}-$$
$$-\frac{1}{\rho_B}k_x\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial y}\frac{\partial p_H}{\partial y}+\frac{1}{\rho_B}k_y\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial y}\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial y}+\frac{1}{\rho_B}k_z\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial y}\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial y}-$$
$$-\frac{1}{\rho_B}k_x\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial z}\frac{\partial p_H}{\partial z}+\frac{1}{\rho_B}k_y\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial z}\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial z}+\frac{1}{\rho_B}k_z\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial z}\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial z}-$$
$$+(\frac{1}{\rho_B}k_z\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial z}\rho_B+\frac{1}{\rho_H}k_z\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial\rho_H}{\partial z}\rho_H)g_z$$
$$-\frac{1}{\rho_H}k_x\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial\rho_H}{\partial x}\frac{\partial p_H}{\partial x}-\frac{1}{\rho_H}k_y\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial\rho_H}{\partial y}\frac{\partial p_H}{\partial y}-$$
$$-\frac{1}{\rho_H}k_z\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial\rho_H}{\partial z}\frac{\partial p_H}{\partial z}=$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}(k_x\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial p_H}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(k_y\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial p_H}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(k_z\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial p_H}{\partial z})+ \qquad (11)$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}(-k_z\frac{f_B}{\mu_B}\rho_B g_z)++\frac{\partial}{\partial x}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B}\frac{\partial s_B}{\partial z})+$$

$$+\frac{\partial}{\partial x}(k_x\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial p_H}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(k_y\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial p_H}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(k_z\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial p_H}{\partial z})+\frac{\partial}{\partial z}(-k_z\frac{f_H}{\mu_H}\rho_H g_z)+$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial z})+$$

$$+\frac{1}{\rho_B}\sum_{i=1}^{N_1}Q_{B,ні}\delta(x-x_{ні},y-y_{ні},z-z_{ні},)-\frac{1}{\rho_B}\sum_{i=1}^{N_2}Q_{B,\partial i}\delta(x-x_{\partial i},y-y_{\partial i},z-z_{\partial i})-$$
$$-\frac{1}{\rho_H}\sum_{i=1}^{N_2}Q_{H,\partial i}\delta(x-x_{\partial i},y-y_{\partial i},z-z_{\partial i})$$

В области $0\le x\le l_1$, $0\le y\le l_2$, $0\le z\le l_3$, $0<\mathrm{t}\le\mathrm{T}$ введем следующую разностную сетку. Где $x_{i+1}=x_i+hx_i$, $y_{j+1}=y_j+hy_j$, $z_{k+1}=z_k+hz_k$, $t^0=0$, $t^{n+1}=t^n+\Delta t$, $(i=0...N_X, j=0...N_Y, k=0...N_Z, n=0...M)$.

Уравнение (11) является нелинейным относительно давления, будем ее решать неявной схемой расщепления по пространственным переменным [7].

Введем следующие обозначения:

$$b_X=-(\frac{1}{\rho_B}k_x\frac{f_B}{\mu_B}\frac{\partial\rho_B}{\partial x}+\frac{1}{\rho_H}k\frac{f_H}{\mu_H}\frac{\partial\rho_H}{\partial x}),$$

$$b_Y = -(\frac{1}{\rho_B} k_y \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial y} + \frac{1}{\rho_H} k \frac{f_H}{\mu_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial y}),$$

$$b_z = -(\frac{1}{\rho_B} k_z \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial z} + \frac{1}{\rho_H} k \frac{f_H}{\mu_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial z})$$

$$e_X = \frac{1}{\rho_B} k_x \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial x} \frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B},$$

$$e_Y = \frac{1}{\rho_B} k_y \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial y} \frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B},$$

$$e_z = \frac{1}{\rho_B} k_z \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial z} \frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B},$$

$$c_X = \frac{1}{\rho_B} k_x \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial x} \frac{\partial p_{kap}}{\partial T},$$

$$c_Y = \frac{1}{\rho_B} k_y \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial y} \frac{\partial p_{kap}}{\partial T},$$

$$c_z = \frac{1}{\rho_B} k_z \frac{f_B}{\mu_B} \frac{\partial \rho_B}{\partial y} \frac{\partial p_{kap}}{\partial T},$$

$$d_{Z,B} = k_z \frac{f_B}{\mu_B} g, \quad d_{Z,H} = k_z \frac{f_H}{\mu_H} g,$$

Тогда уравнение для давления запишется следующим образом:

$$m(\beta_{PB} s_B + \beta_{PH} s_H) \frac{\partial p_H}{\partial t} - m\beta_{PB} s_B \frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B} \frac{\partial s_B}{\partial t} - m\beta_{PB} s_B \frac{\partial p_{kap}}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} - (m\beta_{TB} s_B + m\beta_{TH} s_H) \frac{\partial T}{\partial t} +$$
$$b_X \frac{\partial p_H}{\partial x} + b_Y \frac{\partial p_H}{\partial y} + b_Z \frac{\partial p_H}{\partial z} + e_X \frac{\partial s_B}{\partial x} + e_Y \frac{\partial s_B}{\partial y} + e_Z \frac{\partial s_B}{\partial z} + c_X \frac{\partial T}{\partial x} + c_Y \frac{\partial T}{\partial y} + c_Z \frac{\partial T}{\partial z} +$$
$$+ d_{Z,B} \frac{\partial \rho_B}{\partial z} + d_{Z,H} \frac{\partial \rho_H}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(d_{z,B} \rho_B) + \frac{\partial}{\partial z}(d_{z,H} \rho_H) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}(k_x (\frac{f_B}{\mu_B} + \frac{f_H}{\mu_H}) \frac{\partial p_H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y (\frac{f_B}{\mu_B} + \frac{f_H}{\mu_H}) \frac{\partial p_H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z (\frac{f_B}{\mu_B} + \frac{f_H}{\mu_H}) \frac{\partial p_H}{\partial z}) +$$
$$+ \frac{\partial}{\partial x}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B} \frac{\partial s_B}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B} \frac{\partial s_B}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B} \frac{\partial s_B}{\partial z}) +$$

$$+\frac{\partial}{\partial x}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial z})+$$

$$+\sum_{i=1}^{N_1}Q_{Bi}^{nagn}\delta(x-x_{ни},y-y_{ни},z-z_{ни})-\sum_{i=1}^{N_2}Q_{Bi}^{dob}\delta(x-x_{\partial i},y-y_{\partial i},z-z_{\partial i})-$$

$$\sum_{i=1}^{N_2}Q_{Hi}^{dob}\delta(x-x_{\partial i},y-y_{\partial i},z-z_{\partial i}),$$

Неявная схема расщепления для уравнения давления по направлению x будет иметь следующий вид:

$$hx_i hy_j hz_k m_{ijk}(\beta_{PB}s_{B\,ijk}^{\ n}+\beta_{PH}s_{H\,ijk}^{\ n})\frac{p_{H\,ijk}^{\ n+1/3}-p_{H\,ijk}^{\ n}}{\tau}+hx_i hy_j hz_k m_{ijk}\beta_{PB}s_{B\,ijk}^{\ n}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{ijk}^{n}\frac{s_{B\,ijk}^{\ n+1/3}-s_{B\,ij}^{\ n}}{\tau}+$$

$$+hx_i hy_j hz_k m_{ijk}\beta_{PB}s_{B\,ijk}^{\ n}(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})_{ijk}^{n}\frac{T_{ijk}^{n+1/3}-T_{ijk}^{n}}{\tau}-$$

$$hx_i hy_j hz_k(m_{ijk}\beta_{TB}s_{B\,ijk}^{\ n}+m_{ijk}\beta_{TH}s_{H\,ijk}^{\ n})\frac{T_{ijk}^{n+1/3}-T_{ijk}^{n}}{\tau}+$$

$$hx_i hy_j hz_k(b_X)_{ijk}^{n}(\frac{\partial p_H}{\partial x})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(b_Y)_{ijk}^{n}(\frac{\partial p_H}{\partial y})_{ijk}^{n}+$$

$$+hx_i hy_j hz_k(b_Z)_{ijk}^{n}(\frac{\partial p_H}{\partial z})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(e_X)_{ijk}^{n}(\frac{\partial s_B}{\partial x})_{ijk}^{n}+$$

$$+hx_i hy_j hz_k(e_Y)_{ijk}^{n}(\frac{\partial s_B}{\partial y})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(e_Z)_{ijk}^{n}(\frac{\partial s_B}{\partial z})_{ijk}^{n}+$$

$$+hx_i hy_j hz_k(c_X)_{ijk}^{n}(\frac{\partial T}{\partial x})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(c_Y)_{ijk}^{n}(\frac{\partial T}{\partial y})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(c_z)_{ijk}^{n}(\frac{\partial T}{\partial z})_{ijk}^{n}+$$

$$+hx_i hy_j hz_k(d_{Z,B})_{ijk}^{n}(\frac{\partial \rho_B}{\partial z})_{ijk}^{n}+hx_i hy_j hz_k(d_{Z,H})_{ijk}^{n}(\frac{\partial \rho_H}{\partial z})_{ijk}^{n}+$$

$$hx_i hy_j hz_k(\frac{\partial}{\partial z}(d_{z,B}\rho_B))_{ijk}^{n}++hx_i hy_j hz_k(\frac{\partial}{\partial z}(d_{z,H}\rho_H))_{ijk}^{n}=$$

$$=hy_j hz_k((k_x(\frac{f_B}{\mu_B}+\frac{f_H}{\mu_H}))_{i+1/2\,jk}^{n+1/3})\frac{(p_{H\,i+1jk}^{\ n+1/3})-(p_{H\,ijk}^{\ n+1/3})}{hx_i}-((k(\frac{f_B}{\mu_B}+\frac{f_H}{\mu_H}))_{i-1/2\,jk}^{n+1/3})\frac{(p_{H\,ijk}^{\ n+1/3})-(p_{H\,i-1jk}^{\ n+1/3})}{hx_{i-1}})+$$

$$+hy_j hz_k((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{i+1/2\,jk}^{n}\frac{s_{B\,i+1jk}^{\ n}-s_{B\,ijk}^{\ n}}{hx_i}-(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{i-1/2\,jk}^{n}\frac{s_{B\,ijk}^{\ n}-s_{B\,i-1jk}^{\ n}}{hx_{i-1}})+$$

$$+hx_i hz_k((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{ij+1/2k}^{n}\frac{s_{B\,ij+1k}^{\ n}-s_{B\,ijk}^{\ n}}{hy_j}-(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{ij-1/2k}^{n}\frac{s_{B\,ijk}^{\ n}-s_{B\,ij-1k}^{\ n}}{hy_{j-1}})+$$

$$+hx_i hy_j((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{ijk+1/2}^{n}\frac{s_{B\,ijk+1}^{\ n}-s_{B\,ijk}^{\ n}}{hz_k}-(-\frac{\partial p_{kap}}{\partial s_B})_{ijk-1/2}^{n}\frac{s_{B\,ijk}^{\ n}-s_{B\,ijk-1}^{\ n}}{hz_{k-1}})+$$

$$+ hy_j hz_k ((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{i+1/2\,jk} \frac{T^n_{i+1\,jk} - T^n_{ijk}}{hx_i} - (-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{i-1/2\,jk} \frac{T^n_{ijk} - T^n_{i-1\,jk}}{hx_{i-1}}) +$$

$$+ hx_i hz_k ((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{ij+1/2\,k} \frac{T^n_{ij+1k} - T^n_{ijk}}{hy_j} - (-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{ij-1/2\,k} \frac{T^n_{ijk} - T^n_{ij-1k}}{hy_{j-1}}) +$$

$$+ hx_i hy_j ((-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{ijk+1/2} \frac{T^n_{ijk+1} - T^n_{ij}}{hz_k} - (-\frac{\partial p_{kap}}{\partial T})^n_{ijk-1/2} \frac{T^n_{ijk} - T^n_{ijk-1}}{hz_{k-1}}) +$$

$$+ \sum_{l=1}^{N_1} (Q^{nagn}_{B,l})^n \omega^{nagn}_{ijk} - \sum_{l=1}^{N_2} ((Q^{dob}_{B,l})^n + (Q^{dob}_{H,l})^n) \omega^{dob}_{ijk} .$$

Аналогично строятся неявные схемы расщепления для уравнения давления нефти по направлениям y и z. Затем решаются уравнения для температуры и насыщенности воды с использованием неявных схем расщепления.

В работе для уменьшения вычислительного времени вычислительный алгоритм распараллеливается, в последующем, задача решается на вычислительном кластере, производится анализ расчетов.

Список литературы

1 Мукимбеков М.Ж., Накибаева М.Т. Об одной 3D-задаче многокомпонентной фильтрации, Доклады XIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, РФ, Институт вычислительных технологий СО РАН, октябрь, 2012

2 Мукимбеков М.Ж., Накибаева М.Т. Моделирование 3D-задачи воздействия углекислого газа на пласт, Тезисы международной научной конференции «Функциональный анализ и его приложения», Астана, Казахстан, ЕНУ, октябрь, 2012, С. 137.

3 Мукимбеков М.Ж., Накибаева М.Т. The computational web technologies for decision of oil problems, 3rd IEEE World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2013) Hanoi, VN, IEEE CS, 2013, p. 369-374

4 Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. - М.: Недра, 1982. - 407 с.

5 Андерсон Д., Таннехил Дж. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М.: Мир, 1990.-384 с.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

[1,2]Набиева Г.С., [1,2]Калижанова А.У., [1,3]Кожасбаева А.
e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru

[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан
[2]Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан
[3]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Аннотация. *В работе рассмотрены модели задач дискретного программирования, дана их классификация и методы решения этих задач. На основе анализа моделей задач дискретного программирования выделен класс блочно-симметричных задач, определены свойства и предложен алгоритм решения.*

Введение. В настоящее время информационные системы (ИС) различного класса и назначения используются во всех сферах человеческой деятельности. В процессе создания информационных систем используются современные инструментальные средства программирования, системы управления базами данных, системы автоматизации проектирования и управления разработками, элементы искусственного интеллекта, современная техническая база в виде различного уровня вычислительных сетей.

Вместе с тем быстро изменяющиеся условия и требования к разработке и эксплуатации информационных систем, необходимость адаптации к потребностям предприятий и организаций, быстрое перепрофилирование их деятельности в условиях рынка обуславливают необходимость постоянного решения задач создания информационных систем. Поэтому задачи анализа, проектирования, эксплуатации, модернизации, надежности информационных систем являются актуальными.

Большое число вышеуказанных прикладных задач, как правило, сводится к задачам дискретного программирования, постановка и решение которых в свою очередь имеют значительные сложности. Прежде всего имеется в виду вычислительная сложность (NP-полные задачи), размерность решаемых прикладных задач, точность и эффективность разработанных алгоритмов для практических приложений.

В процессе постановки и решения прикладных задач возникает необходимость разработки таких классов задач дискретного программирования, которые более эффективны по сравнению с существующими задачами.

Прежде чем перейти к ним проведем краткий обзор классических задач дискретного программирования.

Определим задачу дискретного программирования следующим образом [1].

Задачей дискретного программирование (ДП) будем называть задачу отыскания экстремума (max, min) скалярной функции, заданной на дискретном (несвязном) множестве, т.е. такую задачу математического программирования (МП), у которой на все или на часть переменных, определяющих область допустимых решений, наложено требование дискретности. Запишем задачу МП в виде:

$$\mathbf{extr\{f(x):x \in \Omega\},} \qquad (1)$$

где **x=(x₁,...,xⱼ,..,xₙ)-n-**мерный вектор; **f(x)-**скалярная функция; Ω-некоторое множество в **Rn,** $\Omega \subset$ **Rn.**

Если Ω_k-конечное (или счетное) множество или декартово произведение конечного (счетного) множества на множество мощности континиума, то будет иметь место задача ДП. В этом случае условие принадлежности **x** некоторому множеству может быть записано в виде:

$$\mathbf{x_j} \in \Omega_k \text{ , } \mathbf{V_{j=\overline{1}}}\ n_1;$$
$$\mathbf{x} \in \Omega, \text{ , } \mathbf{V_{j=\overline{1}}}\ n; \quad \Omega \subset \mathbf{Rn;} \quad \mathbf{n_1 < n.} \tag{2}$$

При $\mathbf{n_1 < n}$ **-** задача частично дискретного программирования.

Если Ω_k **-** множество всех целочисленных векторов, то имеет место при $\mathbf{n_1 = n}$ **-** задача целочисленного программирования (ЦП). А при $\mathbf{n_1 < n}$ **-**задача частичного целочисленного программирования (ЧЦП).

В наибольшей степени изучены методы решения задач целочисленного линейного программирования (ЦЛП):

$$\mathbf{extrm\{(c,x):Ax<b,x} \in \Omega \mathbf{\};} \tag{3}$$

Здесь Ω1**-** множество всех неотрицательных целых чисел, частный случай задач ЦЛП x_j задачи с булевыми переменными, где в (3):

$$\mathbf{x} \in \mathbf{(0,1),\ V_j=\overline{1,n_1};}$$

В ряде задач ЦП требование целочисленности накладывается и на целевую функцию.

При постановке и решении задач дискретного программирования традиционно можно выделить следующие классы: задачи с неделимостями, экстремальные комбинаторные задачи, задачи с неординарной разрывной целевой функцией, задачи на неклассических областях, многоэкстремальные задачи, дискретные задачи, связанные с нахождением экстремумов на конечных множествах.

Прикладные задачи этих классов в свою очередь могут иметь различные математические постановки и методы их реализации. Поэтому развитие дискретного программирования осуществляется по следующей схеме: постановка прикладной задачи, разработка математической модели дискретного программирования, разработка метода (алгоритма) решения задачи.

Обычно эффективное решение задачи тесно связанно с математической моделью задачи, со структурой модели и ее особенностями.

Рассмотрим некоторые математические модели задач дискретного программирования и методы их решения.

Модели задач ДП. Классическим примером моделей этого класса являются модели целочисленного линейного программирования, в которых переменными являются неделимые величины. Модели этого класса в свою очередь генерировали

различные варианты постановки прикладных задач и определены как модели с неделимостями.

В процессе развития теории дискретного программирования выделился класс комбинаторных моделей [1].

В этих моделях необходимо определить экстремум целочисленной функции, заданной на конечном множестве элементов, либо элементы этого конечного множества, доставляющих экстремум целевой функции.

Одним из типичных примеров комбинаторной модели является задача о коммивояжере [2].

В данной задаче имеется кратчайший замкнутый путь, проходящий по одному разу через все города, при условии, что имеется **n** городов и задана матрица расстояний между ними.

В комбинаторной постановке необходимо определить такую перестановку, которая минимизирует величину целевой функции.

Постановка различных комбинаторных задач может часто формулироваться в виде модели с булевыми переменными, которые принимается только два значения 0 или 1.

К булевым моделям сводятся большое число прикладных задач, что свидетельствует о перспективности моделей этого класса [3].

В постановках ряда прикладных задач имеются некоторые особенности, касающихся целевой функции либо области ограничений. К примеру, необходимо определить, экстремум неординарной разрывной функции на выпуклом многограннике вида

$$\sum_{j=1}^{n} C_j\left(x_j\right), \text{ где}$$

$$C_j\left(x_j\right)=\begin{cases}0, \text{ если } x_j=0\\ C_j x_j+d_j, \text{ если } x_j>0\end{cases}$$

Эти модели образуют класс моделей с неоднородной разрывной целевой функцией.

Модели нахождения экстремума на области, задаваемой не только линейными неравенствам (ограничениями) но и логическими условиями. Такие области оказываются невыпуклыми либо несвязными. Эти задачи образуют модели на не классических областях [2].

Особый интерес исследователей вызывают многоэкстремальные модели, в которых необходимо определить оптимальные значения более одной целевой функции при наличии (либо отсутствии) систем ограничений. Как правило, модели этого класса сложны в вычислительном отношении. Вместе с тем, постановки целого ряда прикладных задач сводятся к моделям данного класса. Решение указанных задач является актуальным [7,10].

Одной из первоначальных моделей, безусловно, является модель транспортной задачи, с которой связаны многие исследования в области

дискретного программирования. Эти исследования привели к моделям потоков в сетях и другим модификациям указанных задач.

Следует отметить, что разработка моделей тесно связана с методом ее реализации, и наоборот, разработка новых методов, в свою очередь, приводит к появлению новых моделей для постановки прикладных задач.

Методы решения задач дискретного программирования (ДП). В задачах ДП методы их решения зачастую связаны с их математической постановкой и особенностями. Имеется большое число методов для решения этих задач. В этой связи целесообразно выделить следующие методы решения задач ДП: точные и приближенные. Среди точных методов наиболее распространены комбинаторные методы и методы отсечения.

Типичным примером комбинаторных методов является метод ветвей и границ [4]. Суть данного метода заключается в направленном переборе допустимых решений на основе вычисления оценок. Основное этапы подхода заключается в следующем:

1. Исходное множество решений G разбиваются на подмножества g_i (процесс ветвления);
2. Для каждого из подмножеств g_i вычисляется значения оценок (нижние или верхние границы);
3. На основе выбранного значения оценок вычисляются допустимые решения;
4. Итерационный процесс ветвления по заданному правилу и вычисление оценок продолжается до тех пор, пока не будет получено оптимальное решение.

Идея метода отсечений заключается в следующем. Решается исходная задача. Если полученное решение удовлетворяет условию целочисленности, то задача решена. В противном случае к ограничениям исходной задачи добавляется новое линейное ограничение. Далее решается задача с дополнительно введенным ограничением. Итеративный процесс повторяется, до тех пор, пока не будет получено целочисленное решение.

Примером успешной реализации методов отсечения является алгоритм Гомори.

Несмотря на использование мощных вычислительных систем с большой памятью, совершенствование и развитие математического аппарата следует отметить ограниченное использование точных методов для решения прикладных задач большой размерности. Поэтому для эффективного решения прикладных задач и преодоления вычислительной сложности точных методов возникла необходимость разработки приближенных и эвристических методов, которые тесно связаны со структурой и особенностями постановки этих задач.

В отличие от точных методов, приближенные методы позволили решать задачи большой размерности и полученные решения удовлетворяют потребностям практики. При этом в ряде случаев появилась возможность оценить отклонение от оптимального решения либо определить ближайшие окрестности от оптимального решения.

Все это позволило использовать приближенные методы в качестве результативного инструментария для решения практических задач.

По мере развития моделей и методов дискретного программирования, постановки новых задач и других приложений появляется необходимость разработки новых подходов и методов решения задач. Одним из таких подходов являются блочно-симметричные модели и методы [5].

К таким задачам можно отнести следующий ряд прикладных задач: проектирование модульного программного обеспечения и массивов базы данных информационных систем, распределение программных модулей и массивов базы данных по узлам вычислительных сетей, выбор проектов в условиях ограниченных ресурсов можно сформулировать в виде блочно-симметричных моделей дискретного программирования. В отличие от традиционных моделей модели этого класса позволяют формулировать задачи с несколькими типами переменных различной природы, проводить декомпозицию сложных задач на блоки с единой целевой функцией и разрабатывать продуктивные алгоритмы, имеющие полиномиальную вычислительную сложность.

Рассмотрим общую постановку и решение блочно-симметричных задач дискретного программирования [6].

Постановка задачи. Пусть задано множество объектов $A = \{a_i; i = 1, \overline{I}\}$ и множество объектов $B = \{b_j; j = 1, \overline{J}\}$ с элементами различных типов, а также взаимосвязи между элементами этих множеств, которые определяются матрицей

$$W = \|\omega_{is}\|, \overline{i = 1, I}, \; j = \overline{1, J},$$

элементы которой целочисленны или булевы. Необходимо объединить элементы множества А в непересекающиеся подмножества $\overline{A_n}, \; n = 1, N$, а элементы множества В - в непересекающиеся подмножества $B_m, \; m = 1, M$, т таким образом, чтобы доставить экстремум целевой функции F (A_n, B_m,).

Для формализованной постановки задачи введем следующие переменные. Пусть $X = \|\overline{x_{in}}\|, i = 1, \overline{I}; n = 1, N$ - булева матрица, где $x_{in} = 1,$, если i-й элемент распределяется в n-ю группу, $x_{in} = 0$ в противном случае. Аналогично $Y = \|y_{jm}\|, \; j = \overline{1, J}; m = \overline{1, M}$, где $y_{im} = 1,$, если j-й элемент распределяется в m-ю группу и $y_{jm} = 0$ в противном случае. В общем случае матрицы переменные X и Y могут быть целочисленными.

Определим на множестве А х В функцию F(X.Y), зависящую от распределения элементов множеств А и В по подмножествам A_n, и B_m. Соответственно на множестве А- функции $\varphi_k(\overline{X}), k = 1, K$, а на множестве В - функции $\psi_s(Y), \overline{s = 1, S},$ определяющие ограничения соответственно на множествах А и В.

Блочно-симметричная задача дискретного программирования формулируется следующим образом:

$$F(X, Y) \to extr, \tag{4}$$

при ограничениях

$$\varphi_K(X) \le \varphi_{Ko}, k = \overline{1,K}, \tag{5}$$

$$\psi_s(Y) \le \psi_{so}, s = \overline{1,S}, \tag{6}$$

В множестве ограничений (5) и (6) в зависимости от постановок задач знаки неравенств могут меняться на противоположные.

В общем случае двухиндексные матрицы - переменные X и Y и заданная матрица W могут быть целочисленными.

Рассмотрим задачу при условии, когда переменные X, Y и W-булевы матрицы. В качестве функций F(X,Y) часто используют функцию вида F(Z), где

$$Z = XWY \tag{7}$$

Рассмотрим выражение (7), которое представляет собой произведение матриц переменных X и Y и заданной матрицы Z, на которой определена целевая функция. В отличие от традиционных постановок задач дискретного программирования в данной постановке имеются два типа переменных X и Y, переменные X и Y симметричны относительно заданной матрицы W.

В задаче (4)-(6) можно выделить множество ограничений вида (5), которые зависят от переменной X, и множество ограничений вида (6), которые зависят от переменной Y.

Функционал вида F(X,Y) можно представить следующим образом:

$$F(p(X), g(Y))extr, \tag{7*}$$

$$p(X) \to extr, \tag{8}$$

$$\varphi_k(x) \le \varphi_{ko}, k = \overline{1,K}, \tag{9}$$

$$g(Y) \to extr, \tag{10}$$

$$\psi_s(Y) \le \psi_{so}, s = \overline{1,S}, \tag{11}$$

В постановке задачи (7*)-(11) выделим блок функций (8), (9), зависящий только от переменной X, и блок функций (10), (11), зависящий только от переменной Y, объединенных единым функционалом вида (7). Заметим, что в ряде постановок задач может быть блок ограничений вида

$$f_r(X,Y) \le f_{ro}, r = \overline{1,R}, \tag{12}$$

зависящий от переменных X и Y

В этом случае можно выделить блок функционала цели вида (7), (12).

Таким образом, задачу (7)-(11) назовем блочно-симметричной задачей дискретного программирования.

Рассмотрим выражение (7). Из него следует что переменные X и Y симметричны относительно заданной матрицы W и функция (7) может быть определена как слева направо, так и наоборот, т. е.

$$Z = XWY = YWX \tag{13}$$

На основе общей постановки определим основные свойства сформулированного класса задач, отличающие его от традиционных постановок задач дискретного программирования

Свойство 1. Наличие двух типов переменных X и Y представленных в виде булевых матриц, которые определены на заданной матрице W.

Свойство 2. Блочность задачи заключается в выделении в постановке отдельных блоков функций вида (7), (13); (8), (9) и (10), (11);

Свойство 3. Симметричность задачи заключается в возможности вычисления (13) как в прямом, так и обратном направлении.

В ряде постановок задач функцию (4) можно представить в виде вектора функции F. В этом случае формулируется многокритериальная блочно-симметричная задача дискретного программирования.

Решение задачи. Анализ особенностей и свойств сформулированной задачи позволяет предложить алгоритмы решения данного класса задач. Рассмотрим решение блочно-симметричных задач дискретного программирования при условии, что X, Y и W - булевы матрицы. Легко доказать следующее утверждение.

Утверждение. Распределение элементов множества A по непересекающимся подмножествам A_n соответствует логическому сложению строк матрицы $\| \omega_{ij} \|$, a распределение элементов множества B по непересекающимся подмножествам B_m -логическому сложению столбцов матрицы $\| \omega_{ij} \|$. Результаты данного утверждения позволяют просто вычислить оценки и направления поиска решения для разработки эффективных алгоритмов.

Введем понятие базиса решения задачи. Под базисом понимается заранее заданный состав элементов подмножеств A_n и B_m.

В матрице W базис находится как некоторая подматрица Z, элементы которых определены. Данную подматрицу путем перестановки номеров строки и столбцов матрицы W и их перенумеровки всегда можно определить в левом верхнем углу. Такое представление упрощает процедуру оценок и определения направления поиска решения.

Для решения блочно-симметричной задачи дискретного программирования при условии, когда X, Y и W - булевы матрицы, разработана и предложена схема решения задачи. Схема поиска решения состоит из следующих основных этапов:

1. В булевой матрице W выделим подматрицу $Z = \|Z_{nm}\|, n = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}$ и определим ее как базис решения задачи.

2. Определим матрицу $D = \|d_{1n}\|, i^1 = \overline{n+1, I}; n = \overline{1, N}$ направления поиска решения X путем логического сложения небазисных строк матрицы W со строками базиса и вычислим значения оценок только по позициям базиса.

3. В соответствии с полученными оценками осуществим распределение элементов множества A по подмножествам A_n В результате зафиксируем решение X и промежуточную матрицу $\Pi = \|\pi_{nj}\|, n = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}.$

4. Определим матрицу $D = \left\|d_{j^1 m}\right\|, j^1 = \overline{m+1, I}; m = \overline{1, M}$ M направления поиска решения Y путем логического сложения небазисных столбцов промежуточной матрицы $\Pi = \|\pi_{nj}\|$ со столбцами базиса и вычислим значения оценок только по позициям базиса матрицы П.

5. В соответствии с полученными оценками матрицы П распределим элементы множества B по подмножествам B_m. В результате фиксируем решение Y и целевую матрицу Z, на которой определено значение целевой функции F (Z).

Следует отметить, что поиск решения задачи может осуществляться как в прямом направлении по схеме $\breve{D}$Y DX , так и в обратном направлении по схеме.

При заданном базисе решение данного класса задач имеет полиномиальную вычислительную сложность [7-11].

Заключение. В работе рассмотрен класс блочно-симметричных задач дискретного программирования, отличающихся от традиционных постановок такими свойствами, как наличие различных типов переменных, блочности и симметричности. На основе анализа моделей задач дискретного программирования определены свойства блочно-симметричных задач, а также представлен алгоритм их решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Корбут А.А, Филькейнштейн Ю.Ю. Дискретное программирование // М.:Наука, 1969. – Р. 55-60.

2 Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – Р. 121-125.

3 Малюгин В.Д. Реализация булевых функций арифметическими полиномами // Автоматика и телемеханика. - 1982. - №4. – С.73.

4 Дроздов Н.А. Алгоритмы дискретного программирования // Тверь.: Наука, 2002.

5 Казиев Г.З. Синтез модульных блок-схем в автоматизированных системах управления // Автоматика и телемеханика. 1992. - №11. – С. 160-171.

6 Казиев Г.З. Блочно-симметричные модели и методы постановки и решения задач дискретного программирования. // Вестник инженерной академии Республики Казахстан. 2003. - №2(10), – С.55-59.

7 Kaziev G.Z., Nabieva G.S., Kalizhanova A.U. Effective class of discreet programming problems // International Conference on Computer Science and Software Engineering (WASET), New York, U.S.A., June 05-06, 2013. – P.137-140.

8 Kaziyev G.Z., Nabiyeva G.S., Kalizhanova A.U. Methods of automated systems decomposition at the stage of technical designing. // Journal Procedia - Social and Behavioral Sciences. -Volume 83. 2013. – P. 1039-1042.

9 Nabiyeva G., Kaziyev G., Kalizhanova A.U. Development of models and methods for optimal allocation of information resources in computer systems / Proceedings of 6th World Conference on Educational Sciences, 2014. – P. 283-290.

10 Nabiyeva G., Kaziyev G., Kalizhanova A., Kalenova B., Kartbayev T., Kozbakova A., Mukazhanov N. Multicriteria Problems of Information System Designing // Global Journal on Technology. – 2013. №3. – P.310-315.

11 Калижанова А.У., Кожасбаева А. Деректерді өңдеу жүйелерін жобалаудың дискретті программалау есептерін шешу модельдері мен әдістері // Материалы научной конференции ИИВТ КН МОН РК «Инновационные IT и Smart-технологии», посвященной 70-летнему юбилею профессора Утепбергенова И.Т. – 2019. С.292-298

ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНО ЗАМКНУТЫЕ ПРИМАРНЫЕ ГРУППЫ

Нуртазин А.Т.
e-mail: abyznurtazin@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *Признано, что проблема выделения в достаточно сложных классах (например, в группах) экзистенциально замкнутых структур обычно оказывается чрезвычайно трудной. Достаточно простыми, но важными в классе всех групп является абелевы группы. Предлагаемая работа является решающим продвижением в получении полного описания класса всех экзистенциально замкнутых абелевых групп и доказательства ряда свойств их элементарных теорий.*

Введение. Понятие «экзистенциальной замкнутости» непосредственно вытекает и связано с исследованным одним из классиков теории моделей Абрахамом Робинсоном понятием «модельной полноты». Говорят, что реляционная структура $\mathcal{M}$ экзистенциально замкнута в расширении $\mathcal{N}$, если любая экзистенциальная формула $\exists x\varphi(x;b)$ с параметрами b из $\mathcal{M}$, истинная в расширении $\mathcal{N}$, также выполняется и в исходной структуре $\mathcal{M}$. Как показано в [1], это давно ставшее классическим понятие структуры, «экзистенциально замкнутой» в заданном классе, значительно упрощается, если с самого начала использовать понятие компаньон-класса. Для определения этого понятия напомним введённые французским логиком Фрэсе обладающие свойством совместного вложения классы конечных структур, вложимых в заданную бесконечную.

Определение 1

1. *Классом Фрэсе данной реляционной структуры* $\mathcal{M}$ *называется класс* $\mathcal{F}(\mathcal{M})$ *ограничений на всевозможные конечные подсигнатуры всех конечных структур, вложимых в* $\mathcal{M}$.

2. *Структуры* $\mathcal{M}$ *и* $\mathcal{N}$ *чисто предикатной сигнатуры* Σ *назовём компаньонами друг друга, если совпадают их классы Фрэсе:* $\mathcal{F}(\mathcal{M}) = \mathcal{F}(\mathcal{N})$.

3. *Все структуры, являющиеся компаньонами данной* $\mathcal{M}$, *называем компаньон-классом этой структуры* $\mathcal{C}(\mathcal{M})$.

Нетрудно видеть, что любой компаньон-класс аксиоматизируется двумя наборами

экзистенциальных и универсальных предложений, первое из которых говорит из каких конечных строятся структуры из $\mathcal{C}(\mathcal{M})$, а второе – какие конечные не вкладываются ни в какие структуры из $\mathcal{C}(\mathcal{M})$ структур, вложимых в заданную бесконечную. Здесь мы воспользуемся следующим простым необходимым и достаточным условием, когда структуры $\mathcal{M}$ и $\mathcal{N}$ являются компаньонами.

Предложение 1 [Nur2]**.**

Структуры $\mathcal{M}$ *и* $\mathcal{N}$ *чисто предикатной сигнатуры* Σ *являются компаньонами друг друга, если и только если каждая из них может быть изоморфно вложена в подходящее элементарное расширение другой.*

Доказательство.

Достаточность. Пусть структура $\mathcal{M}$ вкладывается в некоторое элементарное расширение $\mathcal{N}'$ структуры $\mathcal{N}$. Тогда очевидно выполняются включения:

$\mathcal{F}(\mathcal{M}) \subseteq \mathcal{F}(\mathcal{N}') \subseteq \mathcal{F}(\mathcal{N})$ и $\mathcal{F}(\mathcal{M}) \subseteq \mathcal{F}(\mathcal{N})$. Аналогичное рассуждение доказывает обратное включение: $\mathcal{F}(\mathcal{N}) \subseteq \mathcal{F}(\mathcal{M})$. То-есть выполняется равенство: $\mathcal{F}(\mathcal{M}) = \mathcal{F}(\mathcal{N})$.

Необходимость. Пусть структуры являются компаньонами и выполняется равенство: $\mathcal{F}(\mathcal{M}) = \mathcal{F}(\mathcal{N})$. Для доказательства вложимости структуры $\mathcal{M}$ в некоторое элементарное расширение $\mathcal{N}'$ структуры $\mathcal{N}$ достаточно, считая элементы этих структур константами, доказать непротиворечивость множества предложений: $\mathcal{D}(\mathcal{M}) \cup \mathbf{Th}(\mathcal{N}(\mathbf{N}))$. По теореме компактности для этого достаточно для произвольной конечной подструктуры $\mathcal{A}$ структуры $\mathcal{M}$ заметить непротиворечивость множества предложений:

$\mathcal{D}(\mathcal{A}(\mathbf{A})) \cup \mathbf{Th}(\mathcal{N}(\mathbf{N}))$. Но из определения компаньонов следует выполнение $\mathcal{A} \in \mathcal{F}(\mathcal{N})$ и существование вложения структуры $\mathcal{A}$ в структуру $\mathcal{N}$. Но это вложение определяет интерпретацию констант из $\mathcal{A}$ в $\mathcal{M}$, которая является моделью теории

$\mathcal{D}(\mathcal{A}(\mathbf{A})) \cup \mathbf{Th}(\mathcal{N}(\mathbf{N}))$. Тогда любая модель $\mathcal{N}'(\mathbf{M},\mathbf{N})$ теории $\mathcal{D}(\mathcal{M}) \cup \mathbf{Th}(\mathcal{N}(\mathbf{N}))$ является элементарным расширением структуры $\mathcal{N}$, в которой интерпретация констант из $\mathbf{M}$ является изоморфным вложением в неё структуры $\mathcal{M}$. Доказательство существования элементарного расширения $\mathcal{M}'$ структуры $\mathcal{M}$, в которое изоморфно вкладывается структура $\mathcal{N}$ проводится с помощью симметричных аргументов.

Предложение доказано.

Введённое здесь понятие компаньон-класса не только значительно упрощает понятие «*экзистенциальной замкнутости в некотором аксиоматизируемом*

классе», но и делает абсолютным само понятие «*экзистенциально замкнутой структуры*».

Определение 2. [Nur2]**.**

Структуру $\mathcal{M}$, *экзистенциально замкнутую в своём компаньон-классе, назовём просто экзистенциально замкнутой структурой.*

В [MacIntair] британский логик Макинтайр, получивший самые глубокие результаты об экзистенциально замкнутых группах, отметил, что обычно доказательство экзистенциальной замкнутости любой заданной группы каждый раз оказывается нетривиальной математической задачей. Целью же предлагаемой статьи является демонстрация того, что в отличие от общего случая возможно достаточно полное исследование класса всех экзистенциально замкнутых абелевых групп. В качестве следствия первого предложения докажем следующий простой критерий экзистенциальной замкнутости произвольной рассматриваемой структуры, который будет полезен при получении большинства результатов.

Предложение 2.

Структура $\mathcal{M}$ *экзистенциально замкнута, если и только если экзистенциально замкнутым оказывается её произвольное изоморфное включение в её же элементарное расширение.*

Доказательство.

Необходимость. Пусть $\mathcal{M}$ экзистенциально замкнута. Так как её любое элементарное расширение одновременно является её же компаньоном, то произвольное изоморфное вложение $\mathcal{M} < \mathcal{M}'$ структуры $\mathcal{M}$ в её элементарное расширение $\mathcal{M}'$ экзистенциально замкнуто.

Необходимость доказана.

Достаточность. Для доказательства следует доказать, что произвольное изоморфное вложение $\mathcal{M} < \mathcal{N}$ структуры $\mathcal{M}$ в её же компаньон-структуру $\mathcal{N}$ экзистенциально замкнуто. По определению компаньонов существует элементарное расширение $\mathcal{M}'$ структуры $\mathcal{M}$, которое можно одновременно считать расширением структуры $\mathcal{N}$: $\mathcal{N} < \mathcal{M}'$**.** Очевидно пара изоморфных включений $\mathcal{M}<\mathcal{N}$ и $\mathcal{N}< \mathcal{M}'$ определяет изоморфное включение $\mathcal{M} < \mathcal{M}'$ структуры в её элементарное расширение $\mathcal{M}'$**.** Если теперь $\exists x\, \varphi(x,b)$ некоторая экзистенциальная формула с параметрами b из структуры $\mathcal{M}$, выполняющаяся в расширении $\mathcal{N}$ на некотором наборе элементов a из $\mathcal{N}$, то бескванторная формула $\varphi(x,b)$ выполняется в структуре $\mathcal{M}'$ на кортеже $a'b$, где a' принадлежит $\mathcal{M}'$**,** а b её экзистенциально замкнутой подструктуре $\mathcal{M}$. Тогда по условию экзистенциальной замкнутости $\mathcal{M}$ в $\mathcal{M}'$ в $\mathcal{M}$ найдётся кортеж a, на котором выполняется бескванторная формула $\varphi(x,b)$. Этим фактически доказана экзистен-циальная замкнутость структуры $\mathcal{M}$ в её произвольном компаньон-расширении $\mathcal{N}$.

Предложение доказано.

Достаточно неожиданно полезным при доказательстве не экзистенциальной замкнутости именно для класса абелевых групп оказалось

Следствие 1.

Если структура $\mathcal{M}$ *может быть не экзистенциально замкнутым образом изоморфно вложена в себя, то она не является экзистенциально замкнутой.*

1. Экзистенциально замкнутые примарные абелевы группы

Напомним, что если для ненулевого элемента a данной абелевой группы G найдётся ненулевое натуральное число n такое, что выполняется равенство: $na=0$, то наименьшее из таких чисел называется порядком этого элемента. А если в группе G все элементы имеют конечные ненулевые порядки, то сама группа называется периодической. В этом разделе мы решим проблему экзистенциальной замкнутости произвольных периодических абелевых групп, что позволит в дальнейшем дать полное описание класса всех экзистенциально замкнутых абелевых групп. Если в данной периодической абелевой группе порядки всех элементов являются степенями одного и того же простого числа p, то эта группа называется p-примарной или просто *примарной*. Одной из основных теорем общей теории теории периодических абелевых групп является теорема о разложимости произвольной периодической абелевой группы в прямую сумму своих примарных компонент, которые являются её максимальными примарными подгруппами. Следует заметить, что примарные периодические группы имеют достаточно простое строение и большинство возникающий для всего класса периодических абелевых групп вопросов в отношении класса примарных групп имеют окончательное решение. Поэтому данный раздел мы начнём с решения вопросов экзистенциальной замкнутости целого ряда канонических примарных периодических абелевых групп.

Экзистенциальная замкнутость примарных абелевых групп

С самого начала зафиксируем произвольное простое натуральное число p и выясним какие p-примарные экзистенциально замкнута, а какие - нет. Наиболее простым при этом признаётся класс примарных периодических групп конечного периода. Напомним, что по второй теореме Прюфера все примарные абелевы группы конечного периода разложимы в прямые суммы циклических p- групп вида Z_p, Z_{p^2}, Z_{p^3}, … .

Экзистенциально замкнутые примарные абелевы группы конечного периода

Пусть Z_p циклическая группа порядка p и $\omega\times Z_p = Z_p + Z_p + \ldots + Z_p + \ldots$ прямая сумма ω копий группы Z_p. Покажем, что любое изоморфное расширение этой группы можно получить в результате серии последовательных минимальных расширений, которые соответствуют дополнительному последовательному прямому прибавлению по одной копии группы Z_p. Действительно, если $\omega\times Z_p$ является прямой суммой циклических групп (a_0), (a_1), (a_2), … : $\omega\times Z_p=(a_0)+(a_1)+(a_2)+\ldots$, то в любом её собственном расширении G порядка p выделим последовательность элементов (a_ω), $(a_{\omega+1})$, $(a_{\omega+2})$, … так, что элемент a_ω не принадлежит подгруппе $\omega\times Z_p$. Но тогда циклическая подгруппа (a_ω) имеет нулевое пересечение с подгруппой $\omega\times Z_p$ и подгруппа $(a_0,a_1,a_2,\ldots,a_\omega)$ в G является прямой суммой подгрупп $\omega\times Z_p=(a_0)+(a_1)+(a_2)+\ldots$ и (a_ω). Если теперь элементы $a_{\omega+1}$, $a_{\omega+2}$, … в G последовательно выбирать так, что $a_{\omega+1}$ не принадлежит $(a_0,a_1,a_2,\ldots,a_\omega)$, $a_{\omega+2}$ не принадлежит $(a_0,a_1,a_2,\ldots,a_\omega,a_{\omega+1})$ и т.д. , то в результате будет получено всё расширение G. Но точно таким же образом может быть получено и любое

расширение группы $\omega\times Z_p$, все элементы которого имеют порядок p . Этим доказано, что элементарная теория группы $\omega\times Z_p$ модельно полна и категорична во всех бесконечных мощностях. Таким образом нами в частности доказано, что все группы, элементарно эквивалентные $\omega\times Z_p$, экзистенциально замкнуты.

Теперь проверим экзистенциальную замкнутость группы, полученной из $\omega\times Z_p$ прибавлением прямого слагаемого Z_{p^2}. Пусть $Z_{p^2}=(b)$. Тогда в прямой сумме $\omega\times Z_p+Z_{p^2}$ все элементы порядка p, которые не делятся на p, вместе с нулём образуют подгруппу, совпадающую с подгруппой $\omega\times Z_p$. В $\omega\times Z_p+Z_{p^2}$ любой элемент c, не принадлежащий подгруппе $\omega\times Z_p$ может иметь порядок p^2 либо порядок p и при этом делиться на p. Если порядок элемента c равен p^2, то любой элемент d из группы $\omega\times Z_p+Z_{p^2}$, не лежащий в подгруппе $\omega\times Z_p$, может быть единственным образом представлен в виде одной из сумм $c+a$, $2c+a$, … , $(p^2-1)c+a$. Так как все приведённые рассуждения и полученные свойства выразимы в логике первой ступени, то любое расширение $\mathcal{G}$, элементарно эквивалентное группе $\omega\times Z_p+Z_{p^2}$, может также как и в предыдущем примере быть получено последовательным прибавлением прямого слагаемого, изоморфного группе Z_p. Этим, как и в предыдущем случае доказаны модельная полнота и категоричность во всех бесконечных мощностях элементарной теории группы $\omega\times Z_p+Z_{p^2}$.

Аналогичное рассуждение также годится для доказательства модельной полноты и категоричности во всех бесконечных мощностях элементарной теории группы $\omega\times Z_p+ m Z_{p^n}$ для любых натуральных чисел m и n. Сформулируем отдельно заключение об экзистенциальной замкнутости исследованных примарных групп.

1^0. *Для любых натуральных чисел* m *и* n *группа* $\omega\times Z_p+ m Z_{p^n}$ *экзистенциально замкнута.*

Интересно, что совершенно противоположны оказывается ответ об экзистенциаль-ной замкнутости симметрично для m и $n < s$ полученной группы $mZ_{p^n}+\omega\times Z_{p^s}$. Пусть $mZ_p=(a_1)+(a_2)+\ldots+(a_m)$, где (a_1), (a_2), …, (a_m) циклические группы порядка p^n, и $\omega\times Z_{p^s}=(b_1)+(b_2)+\ldots+(b_m)+\ldots$, где (b_1), (b_2), …, (b_m), … циклические группы порядка p^s.

Если $s=k+n$, то соответствие $a_1\to kb_1$, $a_2\to kb_2$, …, $a_m\to kb_m$, $b_1\to b_{m+1}$, $b_2\to b_{m+2}$, … определяет изоморфное вложение группы $mZ_{p^n}+\omega\times Z_{p^s}$ в себя, при котором элементы kb_1, kb_2, …, kb_m делятся на число k, а их прообразы a_1, a_2, …, a_m -- нет. То есть на каждом из элементов kb_1, kb_2, …, kb_m выполняется соответствующая экзистенциальная форму-ла, говорящая, что у них имеются частные от деления на число k, а на их прообразах a_1, a_2, …, a_m отрицание этой экзистенциальной формулы. Тогда по третьему следствию из предыдущего параграфа нами доказано:

2^0. *Для любых натуральных чисел* m *и* $n < s$ *группа* $mZ_{p^n}+\omega\times Z_{p^s}$ *не экзистенциально замкнута.*

Сформулируем полученные результаты в виде отдельного утверждения.

Предложение 3. *Любая экзистенциально замкнутая примарная периодическая группа конечного периода имеет вид* $\omega\times Z_{p^m}+kZ_{p^n}+\ldots+lZ_{p^s}$ *для двух подходящих конечных возрастающих последовательностей натуральных чисел* $m < \ldots < n$ *и* $k < \ldots < l$.

Экзистенциально замкнутые примарные абелевы группы неограниченного периода

Класс примарных периодических групп, в которых периоды элементов не ограничены естественно разбивается на два, первый из которых состоит из групп, все элементы которых имеет конечную высоту, в совокупности не ограниченную никаким натуральным числом, и класс примарных периодических групп, содержащий элементы бесконечной высоты.

Вначале поймём существуют ли экзистенциально замкнутые примарные абелевы группы, в которых высоты всех элементов конечны, но не ограничены в совокупности. Предположим, что **G** одна из таких групп. Так как высоты всех элементов этой группы конечны, но не ограничены в совокупности, то найдётся строго возрастающая последовательность натуральных чисел $\mathbf{m < n < \ldots < s \ldots}$ и в группе **G** элементы $\boldsymbol{a, b, \ldots, c, \ldots}$ нулевой высоты и имеющие соответственно периоды $\boldsymbol{p^m, p^n, \ldots p^s, \ldots}$. Легко видеть, что в этом случае эти элементы порождают в **G** подгруппы, изоморфные группам $\mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{m}}, \mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{n}}, \ldots \mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{s}}, \ldots$. Очевидно любые две из этих групп, обозначенные теми же буквами, имеют нулевое пересечение. Пусть теперь элементами попарно непересекающихся групп

$\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}, \mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}, \ldots, \mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}, \ldots$ являются константы, а $\boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}), \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}), \ldots, \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}), \ldots$ диаграммы этих групп состоят из атомных предложений от этих констант, истинных на них. Тогда любая конечная часть объединения $\boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \ldots \cup \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \ldots$ этих диаграмм выполняется на некотором конечном подмножестве из последовательности $\mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{m}}, \mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{n}}, \ldots \mathbf{Z}_{\boldsymbol{p}}{}^{\mathbf{s}}, \ldots$ и, следовательно, совместна с элементарной теорией группы **G(**G**).** Но тогда по теореме компактности с этой теорией совместно и всё объединение $\boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \ldots \cup \boldsymbol{D}(\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}) \cup \ldots$, которое таким образом выполняется в некотором элементрарном расширении **H** группы **G** . Следовательно, при таком вложении (которое можно считать тождественным) элементы $\boldsymbol{a, b, \ldots, c, \ldots}$ в расширении **H** делятся на число $\boldsymbol{p}$. Тогда из экзистенциальной замкнутости **G** в расширении **H** следует, что все элементы из **G** имеют ненулевую высоту. Что противоречит нашему исходному предположению. Таким образом нами доказано

Предложение 4. *В классе примарных периодических абелевых групп, элементы которых имеют конечные высоты, не ограниченные ни одним натуральным числом, нет ни одной экзистенциально замкнутой.*

Таким образом нами доказано, что в классе примарных периодических абелевых групп, элементы которых имеют конечные высоты, не ограниченные ни одним натуральным числом, нет ни одной экзистенциально замкнутой. Теперь для получения полного описания всех примарных экзистенциально замкнутых периодических абелевых групп нам остаётся перечислить лишь те из них, в которых содержатся элементы бесконечной высоты. Движение в этом направлении начнём с экзистенциальной замкнутости всех примарных периодических групп, в которых высота каждого элемента бесконечна. Напомним, что простейшей из них является группа $\mathbf{C}_{\boldsymbol{p}}{}^{\infty}$.

Перечислим и поймём как в виде формул выразить некоторые свойства квазициклической группы $\mathbf{C}_{\mathbf{p}}{}^{\infty}$**.** Во первых заметим, что в ней для любого натурального числа **n** существует в точности $\mathbf{p^{n-1}(p-1)}$ элементов порядка $\mathbf{p^n}$**.** Легко

видеть, что это свойство формально может быть выражено двумя предложениями, одно из которых является экзистенциальным, а второе – универсальным. Таким образом множество всех таких предложений, полученным по различным **n,** входит в элементарную теорию группы $\mathbf{C_p^\infty}$.

Известно, что сама группа $\mathbf{C_p^\infty}$ полна. Делимость любого элемента группы $\mathbf{C_p^\infty}$ на данное натуральное число **n** выражается предложением $\forall x \exists y [x = ny]$. Поэтому любое её элементарное расширение группы $\mathbf{C_p^\infty}$ также является полной группой. В то же время из рассуждения предыдущего абзаца следует, что периодическая часть её собственного элементарного расширения в точности совпадает с группой $\mathbf{C_p^\infty}$. Таким образом, любое собственное элементарное расширение группы $\mathbf{C_p^\infty}$ является в точности прямой суммой $\mathbf{C_p^\infty + mQ}$ для некоторого конечного или бесконечного кардинала **m**. Легко видеть, что любое расширение группы $\mathbf{C_p^\infty + mQ}$ до группы $\mathbf{C_p^\infty + nQ}$ может быть получено последовательным прибавлением к ней соответствующего числа копий группы **Q**. В частности таким способом может быть получено и любое элементарное расширение. То-есть этим доказано, что элементарная теория группы модельно полна. Кроме того легко заметить, что любые две модели этой теории одинаковой несчётноей мощности **m** могут быть представлены в одном и том же виде $\mathbf{C_p^\infty + mQ}$ и поэтому элементарная теория группы несчётно категорична.

Предложение 5. *Элементарная теория группы* $\mathbf{C_p^\infty}$ *модельно полна и несчётно категорична и поэтому все её модели – группы* $\mathbf{C_p^\infty, C_p^\infty + Q, C_p^\infty + 2Q, \dots, C_p^\infty + mQ, \dots}$ *экзистенциально замкнуты.*

Дословно те же рассуждения применимы при рассмотрении любой конечной прямой суммы $\mathbf{mC_p^\infty = C_p^\infty + \dots + C_p^\infty}$ - **m** копий группы $\mathbf{C_p^\infty}$. Полученный факт сформулируем в виде отдельного утверждения.

Следствие 2. *Для любого натурального* **m** *элементарная теория группы* $\mathbf{mC_p^\infty}$ *модельно полна и несчётно категорична и поэтому все её модели – группы* $\mathbf{mC_p^\infty, mC_p^\infty + Q, mC_p^\infty + 2Q, \dots, mC_p^\infty + nQ, \dots}$ *экзистенциально замкнуты.*

Почти всеми свойствами, аналогичными доказанным для групп $\mathbf{C_p^\infty}$, $\mathbf{2C_p^\infty}$, $\mathbf{3C_p^\infty}$, **…** *и их элементарных теорий, обладают группа* $\mathbf{\omega C_p^\infty = C_p^\infty + C_p^\infty + \dots + C_p^\infty + \dots}$ *и её элементарная теория.*

Предложение 5. *Элементарная теория группы* $\mathbf{\omega C_p^\infty}$ *модельно полна и почти несчётно категорична и поэтому все её модели – группы* $\mathbf{\omega C_p^\infty, \omega C_p^\infty + Q, C_p^\infty + 2Q, \dots, mC_p^\infty + nQ, \dots}$ *для любых бесконечных* **m** *и* **n** *экзистенциально замкнуты.*

Просуммировав и слегка обобщив полученные результаты можно получить следующее описание всех примарных экзистенциально замкнутых групп.

Теорема. 1) *Класс всех экзистенциально замкнутых примарных абелевых групп конечного периода исчепывается группами вида* $\mathbf{r \times Z_p^m + kZ_p^n + \dots + lZ_p^s}$ *для пар конечных возрастающих последовательностей натуральных чисел* $\mathbf{m < \dots < n}$ *и* $\mathbf{k < \dots < l}$ и бесконечного кардинала **r.**

2) *Любая примарная экзистенциально замкнутая группа бесконечного периода может иметь вид:*

Либо $\mathbf{kC_p^{\infty} + l \times Z_p^m + Z_p^n + \ldots + Z_p^s}$ *для натурального* **m**, произвольного кардинала **l** *возрастающих последовательностей натуральных чисел* $\mathbf{m < n < \ldots < s}$ *и* $\mathbf{i < \ldots < j}$.

Либо $\mathbf{mC_p^{\infty}}$ *для произвольного бесконечного* **m**

Литература

1. Robinson A. On the Metamathematics of Algebra, – Amsterdam: North – Holland, 1951.– 589 p,
2. Macintyre A. On algebraically closed groups// Ann. Math., 1972–.Vol. 96.– P. 53 -- 97.
3. Нуртазин А.Т. Свойства экзистенциально замкнутых моделей// Алгебра и логика.– 2018.– Т.57, №3.–С. 321–327.

НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ ТЕОРЕМЫ ВИЛЬСОНА

Пирожников А.Г., Дюсенбаев Д.С.
dimash_dds@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Часть 1. Аддитивная форма теоремы Вильсона.

Выпишем общепринятое выражение теоремы в форме Вильсона для того чтобы число p было простым необходимо и достаточно выполнение следующего сравнения [Л1]-с.48

$$(p-1)! = -1(mod\ p) \tag{1}$$

Согласно [Л2]-с.89 множество целых чисел *a* из промежутка *1< a < p-1* может быть разбито на пары различных целых чисел удовлетворяющих сравнению *a b = 1 (mod p)*. На этот факт указал еще Гаусс (см. [Л3]-с.80) и назвал такие числа ассоциированными.

Согласно малой теореме Ферма ([Л4]-с.47) имеем

$$a^{p-1} \equiv 1(mod\ p) \text{ и } b^{p-1} \equiv 1(mod\ p)$$

Можем записать

$$a_i b_i + a_i b_i \equiv a^{p-1} + b^{p-1}$$

$$2a_i b_i \equiv a^{p-1} + b^{p-1}$$

Для суммы произведений ассоциированных чисел записываем:

$$2 \cdot \sum_{i=1}^{\frac{p-3}{2}} a_i b_i \equiv \sum_{j=2}^{p-2} j^{p-1} \, (mod\ p) \equiv (p-3)(mod\ p) \qquad (2)$$

(Внимание, тонкое место: при выполнении малой теоремы (Ферма число p не обязательно будет простым.)

Согласно [Л5, 9.623.1]-с. 1051 для сумм степеней натуральных чисел имеется выражение

$$B_{m+1}(n) = B_{m+1} + (m+1)\sum_{k=1}^{n-1} k^m,$$

где $B_{m+1}(n)$ - многочлен Бернулли, B_{m+1} - число Бернулли.

Тогда для правой части сравнения (2) получаем

$$\sum_{j=2}^{p-2} j^{p-1} = \left(-1 + \sum_{j=1}^{(p-2)-1} j^{p-1}\right) = -1 + \left(\frac{B_p(p-1) - B_p}{p}\right)$$

при нечетном *p* $B_p = 0$.

Левая же часть равна *(p-3)*. Итак, при нечетном простом *p*

$$(p-3) \equiv (-1) + (B_p(p-1)/p)(mod\ p)$$
$$\frac{B_p(p-1)}{p} \equiv p - 3 + 1 = p - 2(mod\ p)$$

Таким образом, имеем следующую форму теоремы Вильсона:

Следствие1. $\frac{B_p(p-1)}{p} \equiv -2(mod\ p)$ *при нечетном простом p, при составном модуле это следствие не выполняется, (*$B_p(p-1)$ *- многочлен Бернулли).*

Используя формулу [Л6, 21.5-5]-с.746

$$B_k^{(0)}(x) = x^k,$$

$$B_p^{(1)}(p-1+1) = B_p^{(1)}(p-1) + pB_{p-1}^{(0)}(p-1),$$

$$B_p(p-1) = B_p(p) - p(p-1)^{p-1}$$

Получаем следующую формулу (*p-1* не делится *p*):

$$(B_p(p-1))/p = ((B_p(p))/p - (p-1)^{p-1} \equiv -2(mod\ p)$$

Имеем еще одну форму теоремы:

Следствие 2. $\frac{B_p(p)}{p} \equiv -1(mod\ p)$ *при нечетном простом p, при составном модуле это следствие не выполняется, (*$B_p(p)$*- многочлен Бернулли).*

Помня то, что $B_1 = -1/2$, а нечетное число Бернулли равно нулю, используем разложение многочлена Бернулли с помощью чисел Бернулли (см. [Л7]-с.141.). Получаем следующее выражение:

$$2B_p(p) = 2(p^p + pB_1p^{p-1} + \cdots + C_p^kB_kp^{p-k} + \cdots + C_p^{p-1}B_{p-1}p + B_p)$$

(См., кроме того, [Л5, 9.620]-с. 1050). Тогда имеем из следствия 2:

$$2B_{p-1} \cdot \frac{p^2}{p} = -2(mod\ p)$$

Отсюда имеем следующее:

$$p \cdot B_{p-1} \equiv -1(mod\ p) \qquad (3)$$

Введем следующие обозначения:

$$P_{p-1} = numerator\ B_{p-1},$$

$$Q_{p-1} = divisor\ B_{p-1},$$ т.е. $B_{p-1} = B_{p-1}/Q_{p-1}$.

Из (3) имеем, умножая сравнение на Q_{p-1}:

$$p\ P_{p-1} \equiv -Q_{p-1}(mod\ p);$$

получаем

Следствие 3. Для простого нечетного p выполняется следующее сравнение $divisor\ B_{p-1} = Q_{p-1} \equiv 0(mod\ p)$*, где* B_{p-1} *- число Бернулли.*

Это вытекает, кроме того, из теоремы Штаудта (см. [Л5, 9.614]-с 1050). Практическую проблему представляет собой быстрое и простое вычисление знаменателя числа Бернулли.

Часть 2. Определение простоты числа с помощь теоремы Вильсона на вычислительных машинах

Запишем теорему в форме Лейбница (см. [Л1]-с.49):

$$(p-2)! \equiv 1\ (mod\ p) \qquad (4)$$

Это сравнение можно представить в виде произведений сравнений

$$a_i \cdot b_i \equiv 1\ (mod\ p),$$

где, как указано выше, a_i, b_i *- ассоциированные числа. Левую часть (4) можно представить, как произведение* сравнений, составленных из сомножителей, расположенных по возрастанию или убыванию. Далее находим произведения этих сомножителей, а затем правые части указанных сравнений по модулю р. Получаем, в каждом случае, промежуточные числа G_j. Заканчиваем вычисления перемножением указанных чисел и находя правую часть сравнения (4). Если она равна единице, то число р - простое. Применение многопроцессорных конфигураций вычислительных машин позволяет существенно ускорить вычисления.

Применение данного метода позволяет увеличить анализируемое, с помощью (4), на простоту число р, уменьшить разрядность и объем требуемой оперативной памяти. Предел применения требует практической проверки. *Элемент новизны части 2 неясен.*

Список литературы

1. Серпинский В. Что мы знаем и чего не знаем о простых числах. - Л., Физматгиз, 1963. - 92с.
2. Нестеренко Ю.В. Теория чисел: учебник для студ. высш, учеб, заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 272с.
3. Гаусс К.Ф. Труды по теории чисел. - М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. - 978с.
4. Виноградов И.М. Основы теории чисел.12-е изд.- СПб.: Лань, 2009.- 176с.
5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов, произведений. Изд. 7-е. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011 - 1232с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.- Наука, Главная редакция физико-математической литературы. 1973 - 832с.
7. Постников М.М. Введение в теорию алгебраических чисел. - М.: Наука, 1982 -240 с.

К РАСЧЁТУ ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ И ПОЛУЧЕНИЮ ПОЛИНОМА НАДЁЖНОСТИ СЛУЧАЙНОГО ГРАФА. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Родионов А.С.
e-mail: alrod@sscc.ru
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Россия

Аннотация. *В докладе обсуждаются возможности ускорения расчёта вероятности связности и получению полинома надёжности случайного графа, связанные с сокращением числа рекурсий при применении классического метода факторизации.*

Введение

Задача вычисления вероятности связности случайного графа (СГ) является одной из классических и исследовалась многими авторами [1-5]. Также классической является и задача получения полинома надёжности СГ [6-8]. Одним из наиболее известных методов, используемых при решении этих задач, является метод факторизации или ветвления, впервые предложенный в работе [9] и затем многократно улучшенный разными авторами за счёт применения различных приёмов редукции и декомпозиции [5,10-13]. Часть результатов в этой области принадлежит автору доклада [14-17].

Метод факторизации является рекурсивным, что не может не сказываться на эффективности соответствующих программных реализаций, поэтому одной из задач повышения их эффективности является снижение числа рекурсивных вызовов, в том числе за счёт снижения необходимой их глубины, определяемой глубиной дерева разбора состояний СГ.

В докладе предлагаются некоторые результаты в этой области.

1. Предварительные сведения и обозначения

Рассматривается неориентированный случайный граф с абсолютно надежными вершинами и ненадежными, независимо выходящими из строя, ребрами.

Основные обозначения:

$G(V,E)$ – случайный граф с множеством вершин V, $|V|=n$ и множеством рёбер E, $|E|=m$;

e_{ij} (e_i) – ребро, инцидентное вершинам v_i и v_j,(i-е ребро списка, например цепи или цикла, ясно из контекста) может иметь кратность λ_{ij} (λ_i);

p_{ij} (p_i) – надежность ребра e_{ij} (e_i), $q_{ij=1-}p_{ij}$ ($q_{i=1-}p_i$);

$R(G)$ –вероятность связности (надёжность) СГ;

$R(G,p)$ – полином надёжности СГ (p – одинаковая вероятность присутствия для всех рёбер).

Основная идея метода факторизации заключается в использовании формулы полной вероятности. Рассматриваются две альтернативные гипотезы отсутствия и существования произвольного ребра $e_{ij} \in E$.

$$R(G) = p_{ij}R(G/e_{ij}) + (1 - p_{ij})R(G\backslash e_{ij}), \qquad (1)$$

где G/e_{ij} – граф, полученный стягиванием графа по ребру e_{ij}, а $G\backslash\{e_{ij}\}$ – удалением этого ребра. Рекурсивное применение формулы продолжается до получения графов, позволяющих непосредственное получение их надёжности. Получение несвязного графа при удалении ребра даёт нулевое значение надёжности и позволяет

прекратить процесс по этой ветви, так как состояние оставшихся рёбер уже не влияет на связность графа.

В упомянутых выше работах рассматриваются различные приёмы редукции (удаление висячих вершин, замена цепей или параллельных рёбер одним) и декомпозиции (по мосту, точке сочленения и двухвершинному сечению). Приведём некоторые известные формулы.

Очевиден тот факт, что если два графа G_1 и G_2 имеют единственную общую вершину (точку сочленения), то вероятность объединенного графа G есть:

$$R(G)=R(G_1)\times R(G_2). \quad (2)$$

Естественным следствием этого является то, что вероятность связности графа G, полученного из графов G_1 и G_2 соединением единственным дополнительным ребром (мостом), будет равна:

$$R(G)=p\times R(G_1)\times R(G_2) \quad (3)$$

где p – вероятность присутствия этого ребра.

Также следствием формулы (2) является то, что вероятность связности произвольного дерева равна произведению вероятностей присутствия входящих в него ребер. Отсюда следует простой способ редукции графа перед применением той или иной формулы вычисления его вероятности связности: из него удаляются все ребра, входящие в “прикрепленные” деревья, вместе с вершинами, кроме вершин, к которым эти деревья “прикреплены". Вероятность связности графа есть произведение вероятностей присутствия всех удаленных ребер на вероятность связности оставшегося (редуцированного) графа. Поскольку операция вычисления этого произведения не представляет сложности, равно как определения самого факта наличия висячих вершин, в дальнейшем всегда предполагаем, что минимальная степень вершины графа, представленного к расчету, не менее 2.

Что же касается мостов и точек сочленения, то их возможно выявить на предварительном этапе, например, визуальным анализом или применением соответствующих алгоритмов поиска. В ходе расчета вероятности рассматриваемым ниже методом специальный поиск этих структурных особенностей не представляется целесообразным, но они должны учитываться, если получаются по ходу решения.

В случае существования двухвершинного сечения расчёт надёжности СГ сводится к вычислению надёжности уже четырёх графов меньшей размерности (иллюстрация на Рис. 1) [17]:

$$R(G)=R(G_1)\left[R(G_2')-R(G_2)\right]+R(G_2)\left[R(G_1')-R(G_1)\right]+R(G_1)R(G_2). \quad (4)$$

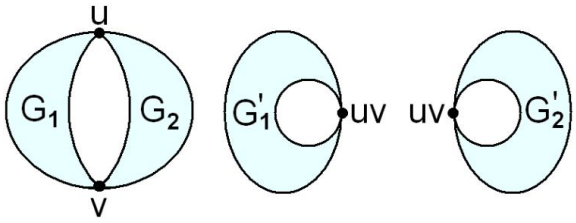


Рис. 1 Граф с двухвершинным сечением и порождаемые графы

Классическая параллельно-последовательная редукция графа предусматривает рассмотрение последовательных либо параллельных **пар** рёбер [5]:

1) Если есть пара последовательных рёбер с надёжностями p_1 и p_2, то её можно заменить одним ребром с надёжностью

$$p = \frac{p_1 p_2}{1-(1-p_1)(1-p_2)} = \frac{p_1 p_2}{p_1 + p_2 - p_1 p_2}, \tag{5}$$

при этом $R(G) = rR(G^*)$, где $r = p_1 + p_2 - p_1 p_2$, а G^* – редуцированный граф.

2) Если есть пара параллельных рёбер с надёжностями p_1 и p_2, соединяющих вершины v и u (мультиребро кратности 2), то её можно заменить одним ребром с надёжностью $p = p_1 + p_2 - p_1 \times p_2$.

Ещё в 2000 году с участием автора был получен результат по «ветвлению по цепи» [18], а в 2002 – по замене длинных цепей простыми рёбрами [19]. После опубликования на английском языке [16] они стали общепризнанными. Приведём соответствующие формулы.

Пусть граф G содержит простую цепь Ch из k ребер $e_1, e_2, \ldots, e_k$ с вероятностями присутствия $p_1, p_2, \ldots, p_k$. Тогда надежность графа G равна

$$R(G) = \prod_{i=1}^{k} p_i \left(\sum_{i=1}^{k} p_i^{-1} - k + 1 \right) R(G^*), \tag{6}$$

где G^* – редуцированный граф.

При тех же условиях

$$R(G) = \left[\prod_{i=1}^{k} p_i + p_{uv} \sum_{i=1}^{k} (1-p_i) \prod_{j \neq i} p_j \right] \cdot R(G / Ch) + (1-p_{st}) \sum_{i=1}^{k} (1-p_i) \prod_{j \neq i} p_j \cdot R(G \setminus Ch). \tag{7}$$

2. Факторизация по комбинации рёбер

При параллельном расчёте надёжности СГ можно использовать полный перебор вариантов его разрушения, эффективный вариант организации которого предложен в []. Однако, более эффективным представляется вариант, при котором полный перебор организуется, только начиная с некоторого уровня дерева разбора, что может дать существенное сокращение рассматриваемых вариантов. Так, вывод

формулы (7) заключался именно в последовательном рассмотрении результатов факторизации по состояниям рёбер цепи.

Рассмотрим эффект от применения формулы (7) в смысле числа рекурсивных вызовов процедуры факторизации. Учитывая, что рассматриваются два состояния каждого ребра цепи, верхняя оценка числа вариантов равна 2^k, но к ним ведут $2^{k+1}-2$ рекурсивных вызова (общее число узлов дерева разбора без корня). Однако, как было сказано, получение несвязного графа прекращает процесс факторизации по ветви, а для этого достаточно удалить из цепи 2 и более рёбер. Таким образом, реально рассматриваются только связные реализации и первые на ветвях несвязные. Общее число рекурсивных вызовов без учёта формулы (7) составляет тогда $k(k+1)$. Таким образом, выигрыш от применения формулы составляет $k(k+1)/2$-кратное сокращение числа вызовов процедуры факторизации.

Возможно проведение факторизации по другим наборам рёбер.

2.1 *Факторизация по двум рёбрам*

Рассмотрим возможные состояния пары рёбер e_1 и e_2 и соответствующие им графы, получаемые удалением отказавших рёбер пары и стягиванием по оставшимся.

Имеем:

$$R(G)=p_1p_2R(G/e_1/e_2)+p_1q_2R(G/e_1\setminus e_2)+q_1p_2R(G\setminus e_1/e_2)+q_1q_2R(G\setminus e_1\setminus e_2). \quad (8)$$

Если e_1 и e_2 формируют разрез, то $R(G\setminus e_1\setminus e_2)=0$. Отметим также, что в $R(G/e_1\setminus e_2)$ и $R(G\setminus e_1/e_2)$ в этом случае присутствуют мосты, что приводит к возможности декомпозиции.

2.2 *Факторизация по трём рёбрам*

Рассмотрим возможные состояния тройки рёбер e_1, e_2 и e_3, имеющих надёжности p_1, p_2 и p_3, и соответствующие им графы, получаемые удалением отказавших рёбер тройки и стягиванием по оставшимся.

Получаем

$$\begin{aligned}R(G) = {} & p_1p_2p_3R(G/e_1/e_2/e_3)+p_1p_2q_3R(G/e_1/e_2\setminus e_3,p)+p_1q_2p_3R(G/e_1\setminus e_2/e_3,p)+\\ & q_1p_2p_3R(G\setminus e_1/e_2/e_3,p)+p_1q_2q_3R(G/e_1\setminus e_2\setminus e_3,p)+q_1q_2p_3R(G\setminus e_1/e_2\setminus e_3,p)+\\ & q_1q_2p_3R(G\setminus e_1\setminus e_2/e_3,p)+q_1q_2q_3R(G\setminus e_1\setminus e_2\setminus e_3).\end{aligned} \quad (9)$$

Как и в случае пары рёбер, возможно, что удаление тройки приводит к разрушению графа, а при удалении одного или двух рёбер получаем возможность декомпозиции. Частным случаем этой ситуации является факторизация по рёбрам, инцидентным вершине степени 3.

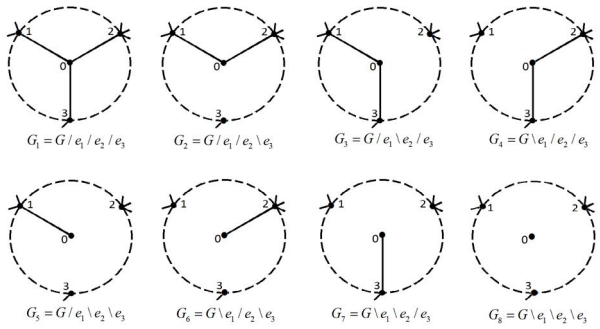


Рис. 2 Графы, порождаемые различными состояниями рёбер,
инцидентных вершине степени 3

Граф G_8 несвязен, графы G_5 – G_7 имеют висячие вершины и редуцируются, приводя их к одному виду, а именно исходному графу G с удалённой вершиной 0. Получаем:

$$R(G) = p_1p_2p_3R(G/e_1/e_2/e_3) + p_1p_2q_3R(G/e_1/e_2\setminus e_3) + p_1q_2p_3R(G/e_1\setminus e_2/e_3) + q_1p_2p_3R(G\setminus e_1/e_2/e_3) + (p_1q_2q_3 + p_1q_2q_3 + p_1q_2q_3)R(G\setminus e_1\setminus e_2\setminus e_3), \quad (10)$$

т.е. достаточно рассмотреть 5 графов вместо 8.

Несколько более эффективную формулу можно получить, выполнив «на бумаге» последовательное ветвление по рёбрам, инцидентным вершине степени 3 (Рис.3). Это даёт возможность учёта наличия рёбер e_{12}, e_{13} и e_{23}.

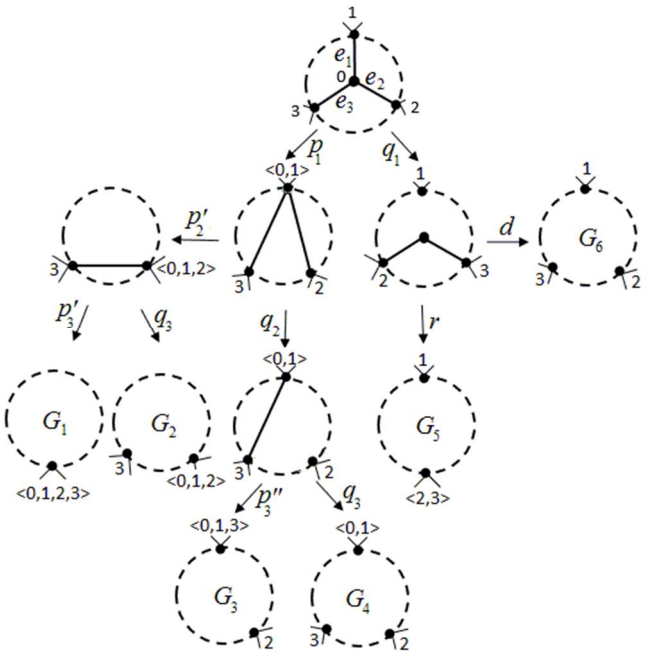


Рис. 3 Процесс факторизации и ветвления по цепям относительно вершины степени 3

На Рис.3 графы G_5 и G_6 получены в результате «ветвления по цепям» по формуле (7), т.е. $d = q_{23}(p_2q_3 + q_2p_3), r = p_1p_2 + p_{23}(p_2q_3 + q_2p_3)$. Возможное наличие рёбер e_{12}, e_{13} и e_{23} даёт нам, в результате параллельной редукции, следующие значения:

$$\begin{aligned} p_2' &= p_2 + p_{12} - p_2 \cdot p_{12}; \\ p_3' &= p_2' + p_{23} - p_2' \cdot p_{23} = p_2 + p_{12} + p_{13} - p_2 \cdot p_{12} - p_3 \cdot p_{13}; \\ p_3'' &= p_3 + p_{13} - p_3 \cdot p_{13}. \end{aligned} \tag{11}$$

Графы G_4 и G_5 тождественны. Имеем:

$$\begin{aligned} R(G) &= p_1p_2'p_3'R(G_1) + p_1p_2'q_3R(G_2) + p_1q_2p_3''R(G_3) + \\ &(p_1q_2q_3 + q_1d)R(G_4) + q_1rR(G_5) \\ &= p_1(p_2 + p_{12} - p_2p_{12})(p_2 + p_{12} + p_{23} - p_2p_{12} - p_2p_{23} - p_{12}p_{23} + p_2p_{12}p_{23})R(G_1) + \\ &p_1(p_2 + p_{12} - p_2p_{12})q_3R(G_2) + p_1q_2(p_3 + p_{13} - p_3p_{13})R(G_3) + \\ &[p_1q_2q_3 + q_1q_{23}(p_2q_3 + q_2p_3)]R(G_4) + q_1[p_1p_2 + p_{23}(p_2q_3 + q_2p_3)]R(G_5). \end{aligned} \tag{12}$$

Как и ранее, необходимо рассчитать 5 графов, но при этом возможно снижение их размерности за счёт предварительного учёта возможных кратных рёбер.

3. Применение метода к расчёту коэффициентов полинома связности

При расчёте коэффициентов полинома связности (КПС) применение метода факторизации имеет свои особенности [20]. В частности, метод последовательно-параллельной редукции приводит к «нагружению» рёбер дополнительными данными, связанными с получающимся полиномиальным выражением их надёжности. По этой причине редукция цепей не применяется, используется только ветвление по цепям мульти-рёбер. Принимая за степень вершины число смежных ей вершин, для вершины степени 3 имеем (см. Рис 4) 3 инцидентных ей цепи Ch_1, Ch_2 и Ch_3 с k_1, k_2 и k_3 мульти-рёбрами кратностей λ_{ij}, вектор кратностей i-ой цепи обозначим как $\vec{\Lambda}_i$, $|\vec{\Lambda}_i| = K_i$. В [20] приведена следующая формула ветвления по цепи мульти-рёбер, соединяющей вершины u и v:

$$\begin{aligned} R(G,p) = &\left[I(\lambda_{uv},p)\prod_{i=1}^{m} M(\lambda_i,p) + M(\lambda_{ut},p)\sum_{i=1}^{k} N(\lambda_i,p)\prod_{j\neq i} M(\lambda_i,p) \right] R(G/Ch,p) + \\ &N(\lambda_{ut},p)\sum_{i=1}^{k} N(\lambda_i,p)\prod_{j\neq i} M(\lambda_i,p)R(G\setminus Ch,p). \end{aligned} \tag{13}$$

Здесь:

$$N(\lambda,p) = (1-p)^{\lambda}, \quad M(\lambda,p) = 1 - N(\lambda,p) = \sum_{i=0}^{\lambda-1} p^{\lambda-i}(1-p)^i, \; I(\lambda,p) = \sum_{i=0}^{\lambda} p^{\lambda-i}(1-p)^i \equiv 1.$$

Применение полинома $I(n,p)$ обусловлено необходимостью выравнивать степени полиномов при их суммировании.

Неучитывание замыкающего цепь ребра e_{uv} существенно упрощает выражение:

$$R(G,p)=\prod_{i=1}^{m}M(\lambda_i,p)R(G/Ch,p)+\sum_{i=1}^{k}N(\lambda_i,p)\prod_{j\neq i}M(\lambda_i,p)R(G\setminus Ch,p) \quad (14)$$

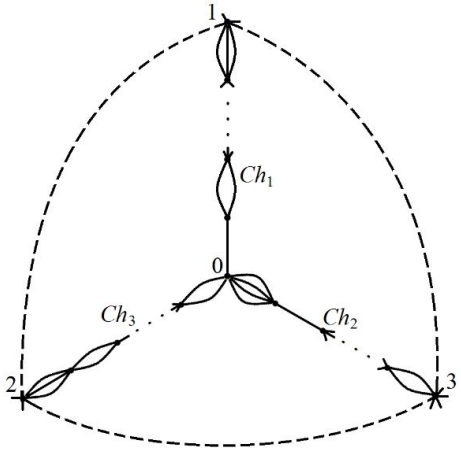


Рис. 4 Вершина, инцидентная трём цепям

Далее нам понадобится выражение для полинома надёжности дерева мультирёбер, частным случаем которого является цепь (этот полином не зависит от конфигурации дерева, а только от кратностей, входящих в него рёбер). Примем следующие обозначения:

$F(m)$ – множество $\{1,\ldots,m\}$;

U_i – подмножество i элементов $F(m)$, $i \le m$;

$W_{\vec{\Lambda}}(U)=\sum_{j\in U}\lambda_j$, где λ_j – кратность j-го ребра цепи с вектором кратностей $\vec{\Lambda}$.

Тогда полином надёжности для цепи с вектором кратностей $\vec{\Lambda}$ имеет вид [20]:

$$D(\vec{\Lambda},p)=\sum_{i=0}^{m}C_m^i p^i(1-p)^{m-i}+\sum_{i=1}^{n-1}(-1)^i\sum_{U_i\subset 2^{F(n-1)}}\sum_{j=0}^{W_{\vec{\Lambda}}(U_i)}C^j_{m-W_{\vec{\Lambda}}(U_i)}p^j(1-p)^{m-j}. \quad (15)$$

Таким образом, для вычисления полинома надёжности цепи мультирёбер необходимо всего лишь перебрать все возможные суммы кратностей его рёбер и подсчитать способы получения этих сумм с чётным и с нечётным числом слагаемых.

Повторяя рассуждения пункта 2.2 и учитывая необходимость выравнивая степеней суммируемых полиномов, имеем:

$$
\begin{aligned}
R(G,p) = {} & D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)R(G/Ch_1/Ch_2/Ch_3)+ \\
& D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)[I(|\overrightarrow{\Lambda_3}|,p)- \\
& D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)]R(G/Ch_1/Ch_2\setminus Ch_3)+D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)[I(|\overrightarrow{\Lambda_2}|,p)- \\
& D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)]D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)R(G/Ch_1\setminus Ch_2/Ch_3)+ \\
& [I(|\overrightarrow{\Lambda_1}|,p)-D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)]D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)R(G\setminus Ch_1/Ch_2/Ch_3)+ \\
& \Big[I(|\overrightarrow{\Lambda_1}|,p)D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)+I(|\overrightarrow{\Lambda_2}|,p)D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)- \\
& D(\overrightarrow{\Lambda_1},p)D(\overrightarrow{\Lambda_2},p)D(\overrightarrow{\Lambda_3},p)\Big]R(G\setminus Ch_1\setminus Ch_2\setminus Ch_3).
\end{aligned}
\tag{16}
$$

При кажущейся громоздкости формулы, в ней присутствуют лишь три полинома, требующие непосредственного получения коэффициентов. При этом, как показано в той же работе [20], нет необходимости в расчёте всех коэффициентов полиномов, так как последние, начиная с $|\overrightarrow{\Lambda_i}|$-го, равны нулю, а ($|\overrightarrow{\Lambda_i}|$-1)-й равен произведению кратностей входящих в цепь мульти-рёбер.

Заключение

В докладе показана возможность сокращения пространства перебора при вычислении вероятности связности случайного графа и получении соответствующего полинома надёжности за счёт факторизации по всем рёбрам, инцидентным одной вершине. Хотя подробно рассмотрен лишь пример вершины степени 3, аналогичные рассуждения применимы для вершин любой степени.

Эксперименты показали, что при получении полинома надёжности по методике, изложенной в [20], добавление факторизации «по вершине степени 3» привело к ускорению от 10 до 23% на графах случайной структуры. Существенную роль играет выбор вершины, при наличии нескольких вершин данной степени: наибольшее ускорение достигается при выборе вершины с минимальной суммой степеней вершин, ей смежных. Данная факторизация применяется только для графов, в которых 3 является минимальной степенью вершины (в смысле количества смежных вершин).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 17-07-00775 и бюджетного проекта 0315-2016-0009 ИВМиМГ СО РАН

Литература

1. Krivoulets V.G., Polesskii V.P. What is the Theory of Bounds for Network Reliability? // Inf. Processes. 2001. Vol. 1, № 2. P. 199-203.

2. Lucet C., Manouvrier J.-F. Exact Methods to compute Network Reliability // Proc. of 1st International Conf. on Mathematical Methods in Reliability. Bucharest, 1997 (статья доступна на http:// ramp.ucsd.edu/resources.html).

3. Rodionova O.K., Rodionov A.S., Choo H. Network Probabilistic Connectivity: Exact Calculation with Use of Chains // Lect. Notes Comp. Sci. 2004. Vol. 3046 P. 315-324: Proc. ICCSA-2004.

4. Gertsbakh I., Shpungin Y. Network reliability importance measures: combinatorics and Monte Carlo based computations // WSEAS Trans. Computers Archive. 2008. Vol. 7, Iss. 4. P. 216-227.

5. Shooman A.M. Algorithms for Network Reliability and Connection Availability Analysis // Proc. Electro/95 Int. Professional Program. 1995. P. 309-333.

6. Colbourn C.J. Some open problems on reliability polynomials // Congr. Numer. 1993. Vol. 93. P. 187-202.

7. Chari M. and Colbourn C.J. Reliability polynomials: a survey // Combin. Inform. System Sci. 1997. Vol. 22. P. 177-193.

8. Page L.B., Perry J.E., Reliability polynomials and link importance in networks, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 43 Iss. 1 (1994) 51–58.

9. Мур Э., Шеннон К. Надежные схемы из ненадежных реле // Кибернетический сб.– М.: Иностр. лит., 1960. – Вып. 1. – С. 109–148.

10. Satyanarayana A. and Chang M.K. Network reliability and the factoring theorem // Networks. 1983. – Vol. 13. – P. 107-120.

11. Мигов Д.А. Формулы для быстрого расчета вероятности связности подмножества вершин в графах небольшой размерности // Проблемы информатики. 2010. – № 2(6). – С. 10–17.

12. R. K. Wood. Factoring Algorithms for Computing K-Terminal Network Reliability, // IEEE Trans. on Reliability, vol. 35, no. 3. – 1986. – P. 269–278.

13. Shaio J. A family of algorithms for network reliability problems // Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on, Vol. 4. – 2002. – P.2167-2173.

14. Родионов А.С., Родионова О.К., Мигов Д.А., Мурзин М.Ю. Использование метода ветвления для точного расчёта вероятности связности случайного графа // Математика и безопасность информационных технологий. М.: МЦНМО. – 2005. – С. 141–146.

15. Родионов А.С., Родионова О.К. Метод ветвления в вычислении характеристик связности сетей // Вестн. СибГУТИ. Новосибирск, 2007. С. 63-66.

16. O.K. Rodionova, A.S. Rodionov, and H. Choo, “Network Probabilistic Connectivity: Exact Calculation with Use of Chains,” in Proc. International Conference on Computational Science and Applications, A. Lagana, Ed. et al., 2004, vol. 3046, Springer LNCS. – 2004. – P. 315-324.

17. Migov D.A., Rodionova O.K., Rodionov A.S., Choo H. Network Probabilistic Connectivity: Using Node Cuts // EUC Workshops, Springer–Verlag LNCS, Vol. 4097. – 2006. – P. 702–709.

18. Родионов А.С., Родионова О.К. К вопросу практического использования формулы Мура-Шеннона для расчета вероятности связности локальных сетей // Тр. 2 Междунар. науч.-практ. конф. «Информационные технологии и радиосети», ИНФОРАДИО-2000. – Омск, 2000. – С. 67–69.

19. Родионов А.С., Родионова О.К. О точном вычислении вероятности связности графа // Труды Международной конференции «Вычислительные

технологии и математические модели в науке, технике и образовании», Алма-Ата, Казахстан, 18-20 сентября 2002 года, Т.5. – 2002. – С.140–147.

20. Rodionov A.S., Speeding up computation of the reliability polynomial coefficients for a random graph // Automation and remote control, n.7. – 2011. – P. 134–146.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Сансызбай Л.Ж.
e-mail: sansyzbaylazzat@gmail.com
Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Аннотация. *В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе большое количество статей посвящено исследованию подходов реализации системы автоматического управления.*

Но в то же время отсутствуют обзорные статьи, которые позволили бы сравнить различные подходы между собой, выявить достоинства и недостатки каждого из них и возможности комбинированного использования разных подходов.

В рамках данной работы проведён анализ различных подходов, применяемых для реализации систем автоматического управления, показаны достоинства и недостатки данных подходов.

Результаты анализа показали, что в настоящее время наиболее перспективным направлением является применение подходов, базирующихся на интеллектуальных вычислениях.

Введение

Поддержание регулируемых параметров объекта управления на заданном уровне осуществляется с применением различных автоматизированных систем управления, базирующихся на применении методов классической теории управления, адаптивного управления, робастного управления.

Современное состояние таких областей науки и техники, как теория управления, информатика, вычислительная математика и статистика, нейрофизиология, физика, технология производства микрочипов наряду с постоянно возрастающем уровнем сложности практических задач и ужесточением требований к качеству их решения обусловили появление концептуально новых технических средств интеллектуальных технологий.

Цель данной статьи – проведение сравнительного анализа различных подходов, применяемых для управления сложными динамическими объектами управления и выявление наиболее эффективных из них.

Сравнительный анализ различных подходов реализации систем управления

Методы классической теории управления. Классическая теория управления применяется для синтеза автоматических систем управления (САУ) в случае наличия формализованного объекта управления. Это вызвано тем, что при построении традиционной САУ необходимо предварительно формально описать объект управления [1] и сформировать критерии управления на базе математического аппарата, оперирующего количественными категориями. Анализ достоинств и недостатков применения методов классической теории управления приведен в таблице 1 [2-6].

Таблица 1. Достоинства и недостатки методов классической теории управления

Достоинства	Недостатки
1.Высокая степень проработанности математического аппарата. 2.Простота и удобство использования при проектировании регуляторов. 3.Логическая прозрачность.	1.Невозможность синтеза САУ без наличия математической модели объекта управления. 2.Невозможность синтеза плохо формализованных систем управления.

Методы адаптивного управления. Применение данных методов позволяет синтезировать системы управления, которые в зависимости от изменения параметров объекта управления или действующих на объект управления внешних возмущений, изменяют параметры и структуру регулятора.

Адаптивные системы подразделяются по способу изучения объекта на два подвида: поисковые и беспоисковые. В свою очередь, беспоисковые адаптивные системы управления по способу получения информации для подстройки параметров регулятора -на системы *с эталонной моделью* и на системы с идентификатором *(с настраиваемой моделью)*. Анализ достоинств и недостатков применения адаптивных систем управления показан в таблице 2.

Таблица 2. Достоинства и недостатки применения методов адаптивных систем управления

Достоинства	Недостатки
Поисковые адаптивные системы	
1.Возможность настройки параметров САУ в процессе управления. 2.Возможность управления плохо формализованными объектами.	1.Необходимость подачи идентификационных сигналов на вход объекта управления. 2.Длительный процесс идентификации. 3.Зависимость процесса идентификации от параметров объекта управления и внешних условий.

Беспоисковые адаптивные системы с эталонной моделью	
1.Отсутствие воздействий на объект управления с целью его идентификации. 2.Возможность управления плохо формализованными объектами.	1.Необходимость знания эталонной математической модели объекта управления.
Беспоисковые адаптивные системы с идентификатором	
1.Идентификация неизвестных параметров объекта. 2.Возможность управления плохо формализованными объектами.	1.Необходимость использования идентификатора.

Методы робастного управления. Традиционные методы синтеза систем управления используют модели регулятора и объекта при условии неизменности их параметров. Однако для реальных объектов управления характерно изменение их динамических свойств (наличие запаздывания и шума, изменение рабочей точки, непредсказуемость внешних возмущений и т.д.).

Альтернативой классическим методам синтеза САУ являются робастные системы управления, которые обладают требуемым качеством управления, несмотря на наличие потенциальных неопределенностей и когда математическая модель, характеризующая объект управления, неизвестна или неполная.

Задачей синтеза робастных систем управления является поиск закона управления, который сохранял бы входные переменные системы и сигналы ошибки в заданных допустимых пределах несмотря на наличие неопределенностей в контуре управления. Анализ достоинств и недостатков применения робастного подхода к синтезу САУ приведен в таблице 3 [4].

Таблица 3. Достоинства и недостатки применения робастных систем управления

Достоинства	**Недостатки**
1.Возможность управления плохо формализованными объектами управления. 2.Отсутствие чувствительности к изменениям параметров объекта управления в определенном диапазоне.	1.Невозможность изучения объекта управления в процессе управления.

Хотя классическая теория управления успешно применяется для построения САУ летательными аппаратами, энергетическими установками и т.п., но попытки ее использования в развивающихся технологических инновационных областях не дают ощутимых практических результатов.

На практике подобными объектами достаточно успешно управляет человек-оператор, у которого имеется опыт наблюдения и анализа работы объекта, способность делать определенные выводы и т.п., что позволяет принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Благодаря своему интеллекту, человек может оперировать не только с количественными (что в

определенной степени может и машина), но и с качественными неформализованными понятиями, вследствие чего довольно успешно справляется с неопределенностью и сложностью процесса управления [2]. Поэтому построение моделей, приближенных рассуждению человека и использование их в САУ представляет сегодня одно из важнейших направлений развития классической теории управления. Не вызывает сомнений, что существенное повышение эффективности управления сложными объектами заключается в создании интеллектуальных САУ, способных в той или иной степени воспроизводить определенные интеллектуальные действия человека, связанные с приобретением, анализом, классификацией знаний в предметной области управления технологическим процессом, а также оперирующих знаниями, накопленными человеком-оператором или самой системой в ходе практической деятельности по управлению объектом [7-10].

Ускоренное развитие вычислительной техники в настоящее время способствует разработке, внедрению и использованию новых методов интеллектуального управления во многих областях. При этом интеллектуальные САУ позволят сократить ресурсо- и энергозатраты и обеспечат более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов по сравнению с традиционными САУ.

Методы нечеткого управления. В настоящее время начинают находить широкое применение так называемые нечеткие системы управления (fuzzy-системы), основанные на нечеткой логике, разработанной профессором Лотфи Заде еще в 1965 году [3]. Особенно эффективно применение нечетких систем управления там, где объект управления достаточно сложен и существует дефицит априорной информации о поведении системы. Достоинства и недостатки нечетких САУ приведены в таблице 4 [2-6,11-21].

Таблица 4. Достоинства и недостатки применения нечетких систем управления

Достоинства	**Недостатки**
1.Управление плохо формализованными объектами управления. 2.Использование опыта экспертов предметной области. 3.Логическая прозрачность. 4.Повышение быстродействия работы САУ. 5.Точность работы САУ. 6.Уменьшение вероятности ошибочных решений. 7.Простота технической и программной реализации.	1.Отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем. 2.Отсутствие возможности математического анализа. 3.Сложность определения функций принадлежности и базы правил. 4.Сложность проведения операции адаптации.

Методы нейросетевого управления. Искусственные нейронные сети способны к самоорганизации и обучению, архитектура и функции таких сетей строятся на основе биологических структур мозга. Нейронные сети характеризуются

следующими свойствами: параллельность, распределенность, самоорганизация, в то время как обычные компьютеры - последовательностью, локальностью, работой по алгоритму. Факторы, которым могут обучаться такие системы - характеристики объекта управления (статические и динамические свойства), некоторые характеристики возмущений и внешней среды, методы управления оборудованием.

Применение нейронных сетей на практике связано с затруднением выбора типа нейронов (т. е. нелинейной функции f), количества слоев и структуры сети для решения конкретной задачи с требуемой точностью. Достоинства и недостатки использования нейросетевых САУ приведены в таблице 5.

Таблица 5. Достоинства и недостатки применения нейронных сетей

Достоинства	**Недостатки**
1.Возможность использования неопределенных данных. 2.Сохранение работоспособности при выходе из строя отдельных элементов. 3.Способность обучаться, обобщать информацию. 4.Наличие универсальности.	1.Отсутствие возможности предварительного определения подходящих архитектур. 2.Необходимость обучения перед началом использования. 3.Проблематичность использования опыта экспертов предметной области. 4. Отсутствие логической прозрачности.

Методы нейро-нечеткого управления. Существуют объекты управления, характеризующиеся множеством входных переменных. Применение в таком случае методов нечеткой логики затруднено по причине увеличения базы правил (сложность вычислений повышается экспоненциально).

Для преодоления этой проблемы и разработки базы оптимальных правил используют нейронечеткие модели, сочетающие как нечеткую логику (нечеткие правила), так и искусственные нейронные сети (нейронный механизм реализации этих правил).

Совместное использование аппарата искусственных нейронных сетей и нечеткой логики позволяет проводить идентификацию сложных нелинейных динамических объектов и синтезировать для них нелинейные законы управления, что дает возможность решать рассматриваемую задачу синтеза системы управления в условиях неопределенности на основе имеющихся экспериментальных данных, полученных на объекте. Достоинства и недостатки применения нейро-нечеткого подхода в САУ приведены в таблице 6.

Таблица 6. Достоинства и недостатки применения нейро-нечетких сетей

Достоинства	**Недостатки**
1.Возможность работы с неопределенными данными. 2.Сохранение работоспособности при выходе из строя отдельных элементов.	1.Отсутствие возможности предварительного определения подходящих архитектур.

3.Способность обучаться, обобщать информацию. 4.Относительная простота использования опыта экспертов предметной области. 5.Наличие логической прозрачности.	2.Необходимость проведения обучения перед началом использования.

Заключение

Представленные в статье результаты анализа подходов реализации систем управления показывают, что каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, а выбор определенного зависит от степени изученности объекта управления.

Если объект управления достаточно формализован, его функционирование подается математическому описанию (математическая модель), то для управления им целесообразно применение методов классической теории.

В тех случаях, когда объект управления имеет широкий диапазон изменения динамических характеристик и реальное условие его эксплуатации в полном объеме не известны, применяют адаптивные системы.

В случаях, если объект управления отличается от расчётного или его математическая модель неизвестна, применяются робастные системы управления.

Для поддержания параметров нелинейных систем с динамически изменяющимися параметрами, а также когда отсутствует априорная информация об объекте управления или она неполная, эффективным является использование интеллектуальных технологий: нейронных сетей, аппарата нечеткой логики, нейро-нечетких систем.

Системы на основе интеллектуальных технологий позволяют достичь требуемого баланса между поддержанием параметра на требуемом уровне и снижением ресурсо- и энергопотребления. Хотя данные методы обладают рядом недостатков, их преимущества такие как, высокая точность, быстродействие, устойчивость к динамически изменяющимся внешним условиям, надежное прогнозирование, гибкость в управлении делают их перспективным направлением.

Список литературы:

1. Пивкин В.Я., Бакулин В.П., Кореньков Д.И. Нечеткие множества в системах управления / В.Я.Пивкин, В.П.Бакулин, Д.И.Кореньков. – Новосибирск.: Издательство НГУ, 1998. – 75 с.

2. Аверкин А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Аверкин А.Н. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 312 с.

3. Заде Л. Понятие лингвистических переменных и его применение к принятию приближенных решений / Л.Заде. – М.: Мир, 1976. - 165 с.

4. Пупков К.А., Егупов Н.Д. и др. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под. ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.

5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер.с польского. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия Телеком, 2006. – 452 с.

6. Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э.Яхъева. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.

7. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А.Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М.Шахназаров. – М.:Радио и связь, 1990. – 264с.

8. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедов Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации / Р.А.Алиев, А.Э.Церковный, Г.А.Мамедов. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

9. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Марков Е.П. Системный анализ процессов химической технологии / В.В. Кафаров, И.Н.Дорохов, Е.П.Марков. – М.:Наука, 1986. – 360 с.

10. Искусственный интеллект: Применение в интегрированных производственных системах / под ред. Э. Кьюсиака; пер. с англ. А. П. Фомина. - М. : Машиностроение, 1991. - 544 с.

11. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах / Н.П.Деменков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.

12. Мелихов А.Н., Баронец В.Д. Проектирование микропроцессорных устройств обработки нечеткой информации / А.Н.Мелихов, В.Д.Баронец. – Ростов-на-Дону.: Издательство Ростовского университета, 1990. – 128 с.

13. Карпенко А.В., Петрова И.Ю. Модели управления микроклиматом в помещении / А.В.Карпенко, И.Ю.Петрова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 7-2. – С. 224-229.

14. Сансызбай Л.Ж. Анализ существующих моделей управления микроклиматом помещения / Л.Ж. Сансызбай, Б.Б. Оразбаев // Вест. ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. Сер.Технические науки и технологии. – 2019. – № 2 (127). – С. 70-78.

15. Hasim N. Intelligent room temperature controller system using MATLAB fuzzy logic toolbox / N.Hasim, M.S.M.Aras // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2014. – Vol.3. – P. 1748-1753.

16. Das T. K. Design of A Room Temperature and Humidity Controller Using Fuzzy Logic / T. K. Das, Y. Das // American Journal of Engineering Research (AJER). – 2013. – Vol.2. – P. 86-97.

17. Alcalá R. Fuzzy Rule Reduction and Tuning of Fuzzy Logic Controllers for a HVAC System / R. Alcalá, J.Alcalá-Fdez, M. J. Gacto, F. Herrera // Journal Fuzzy Applications in Industrial Engineering – 2006. – Vol.201. – P. 89-117.

18. Eftekhari M. Application of fuzzy control in naturally ventilated buildings for summer conditions / M.Eftekhari, L.Marjanovic // Journal Energy and Buildings. – 2003. – Vol.35. – P. 645-655.

19. Kolokotsa D. Comparison of the performance of fuzzy controllers for the management of the indoor environment / D.Kolokotsa // Journal Building and Environment. – 2003. – Vol.38. – P. 1439-1450.

20. Molina-Solana M. Unifying Fuzzy controller for Indoor Environment Quality / M. Molina-Solana, M. Ros, M. Delgado // Proc.Joint of IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS). – 2013. – P. 1080-1085.

21. Xu X.N. Intellectual controlling and energy-saving management for terminal equipment of air-conditioning system / X.N.Xu, Y.F.Ding // Building Science. – 2008. – Vol.24 (8). – P. 43-46.

РЕГУЛЯРИЗАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГЕЛЬФАНДА-ЛЕВИТАНА-КРЕЙНА

Темирбекова Л.Н.
e-mail: laura-nurlan@mail.ru
Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан

Аннотация. *В работе рассматривается многомерная начально-краевая обратная задача гиперболического типа. Обратная задача заключаются в восстановлении коэффициентов с помощью многомерного аналога интегрального уравнения Гельфанда-Левитана-Крейна. Известно что, такого рода уравнения являются линейным интегральным уравнениям Фредгольма первого рода, которые в свою очередь некорректны. Цель работы заключается в нахождении численного решения уравнения Гельфанда-Левитана-Крейна с помощью итерационных регуляризирующих алгоритмов. С использованием специфики этих уравнении (ядро уравнения зависит от разности аргументов) удается создать высокоэффективные итерационные регуляризирующие алгоритмы.*

Рассматривается одномерная начально-краевая обратная задача акустики [1-3]

$$\frac{1}{c^2(z)}\upsilon_{tt} = \upsilon_{zz} - \frac{\rho'(z)}{\rho(z)}\upsilon_z, \quad z>0, \quad t>0, \tag{1}$$

$$\upsilon\,|_{t<0} \equiv 0, \quad z>0, \tag{2}$$

$$\upsilon_z\,|_{z=0} = \delta(t), \quad t>0. \tag{3}$$

Прямая обобщенная начально-краевая задача заключается в определении акустического давления $\upsilon(x,t)$ при известных гладких функциях $\rho(z), c(z)$.

Обратная задача заключается в восстановлении плотности либо скорости в среде по дополнительной информации следующего вида

$$\upsilon\,|_{z=0} = f(t), \quad t>0.$$

Данная обратная задача сводится к решению уравнения Гельфанда-Левитана-Крейна:

$$-2f(+0)V(x,t)-\int_{-x}^{x}V(x,s)f'(t-s)ds=1,\quad t\in(-x,x)\,. \tag{4}$$

При этом решение обратной задачи $\sigma(x)$ связано с решением уравнения Гельфанда - Левитана - Крейна $V(x,x)$ следующим соотношением:

$$\sigma(x)=\frac{V(0,0)}{2V^2(x,x)}.$$

Литература

1. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009. - 457 с.

2. Новиков Н.С. Численное решение двумерного аналога уравнения Гельфанда - Левитана - Крейна. Сиб. эектрон. матем. изв., 2014. –Т.11.- С.132-144

3. Баканов Г.Б. Методы решения конечно-разностных обратных задач теории распространения волн. - Кызылорда, 2011.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ЗЕРНОХРАНИЛИЩАМИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СИЛОСАМИ

Тулешов А.К., Кошеков К.Т., Шадыманова А.А.

E-mail: aman_58@mail.ru, kkoshekov@mail.ru

ИММаш им. У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

Аннотация. *В данной статье авторы описали проект информационной системы мониторинга и управления зернохранилищем инновационного типа на основе анализа параметров температуры, влажности, уровня углекислого газа и 3D-измерений поверхности зерна. Данная информационная система в результате анализа данных с датчиков температуры, влажности, уровня углекислого газа и 3D-измерений поверхности зерна осуществляет формирование управляющих воздействий на оборудование зернохранилище. В предложенной информационной системе учитывались научные знания и достижения в области хранения зерна и теории идентификационных измерений, что позволяет использовать описанные алгоритмы в информационных системах мониторинга зернохранилищ других видов.*

Ключевые слова: *информационная система, мониторинг, управление, зернохранилище.*

1. Вступление

Автоматизация аграрно-промышленного комплекса, современная механизация и развитие информационных технологий, позволяют с каждой единицы использующихся ресурсов получить большее количество, разнообразие и разносортность высококачественных продуктов питания, что является эффективным способом развития агропромышленного комплекса. Инновационное развитие аграрно-промышленного комплекса замедляется из-за низкого уровня технологической оснащенности, а также техническим и технологическим уровнем промышленности. Аграрный сектор Республики Казахстан в основном использует типовые, устаревшие схемы управления. Для повышения качества выпускаемой продукции необходима автоматизация производства.

Северо-Казахстанская область – один из ведущих аграрных регионов страны, обеспечивающий треть республиканского объема производства зерновых и масличных культур. Соответственно, работы по автоматизации производства именно в этой области представляют научный интерес авторов.

Зернохранилище инновационного типа представляет собой один условно разделенный на сектора. Рассматриваемый опытный образец зернохранилища выполнен из металлических листов, которые имеют наклонные плоскости. Наклонные плоскости предназначены для подачи зерна на нижний транспортер.

В связи с разработкой нового вида зернохранилища, возникла необходимость создания информационной системы автоматизированного мониторинга и управления работой зернохранилища с горизонтальными силосами. В данной статье авторы представляют проект информационной системы автоматизированного мониторинга и управления работой зернохранилища с горизонтальными силосами.

2. Структурная схема интеллектуального комплекса бесконтактного мониторинга и управления зернохранилищем с горизонтальными силосами

Интеллектуальный комплекс удаленного (бесконтактного) мониторинга и управления процессом хранения зерна в зернохранилище инновационного типа включает в себя оборудование, коммуникации и непосредственно разрабатываемое в рамках данного диссертационного исследования программное обеспечение в виде информационной системы. Структурная схема интеллектуального комплекса реализована в соответствии с рисунком 1.

Устройства, для которых информационная система генерирует управляющие сигналы, представлены следующими элементами: нория; перекидной клапан; верхние задвижки (по одной на каждую секцию); верхний транспортер; нижние задвижки (по одной на каждую секцию); нижний транспортер; вентиляция (по одной на каждую секцию).

Готовое к хранению зерно выгружается в выгрузную яму. Зерно в норию с помощью шнекового подавателя через приемный патрубок. В свою очередь нория направляет зерно на верхний скребковый транспортер, который заполняет силос.

Транспортер подает зерно на норию, которая поднимает его до определенного уровня. Перекидной клапан переключается в режим выгрузки и зерно поступает в разгрузочное сопло. Зерно выгружают через отверстия в днище корпуса, которые

снабжены задвижками. Процесс загрузки и выгрузки зерна из секции регулируется управляющими заслонками, установленными на корпусе транспортеров подачи зерна.

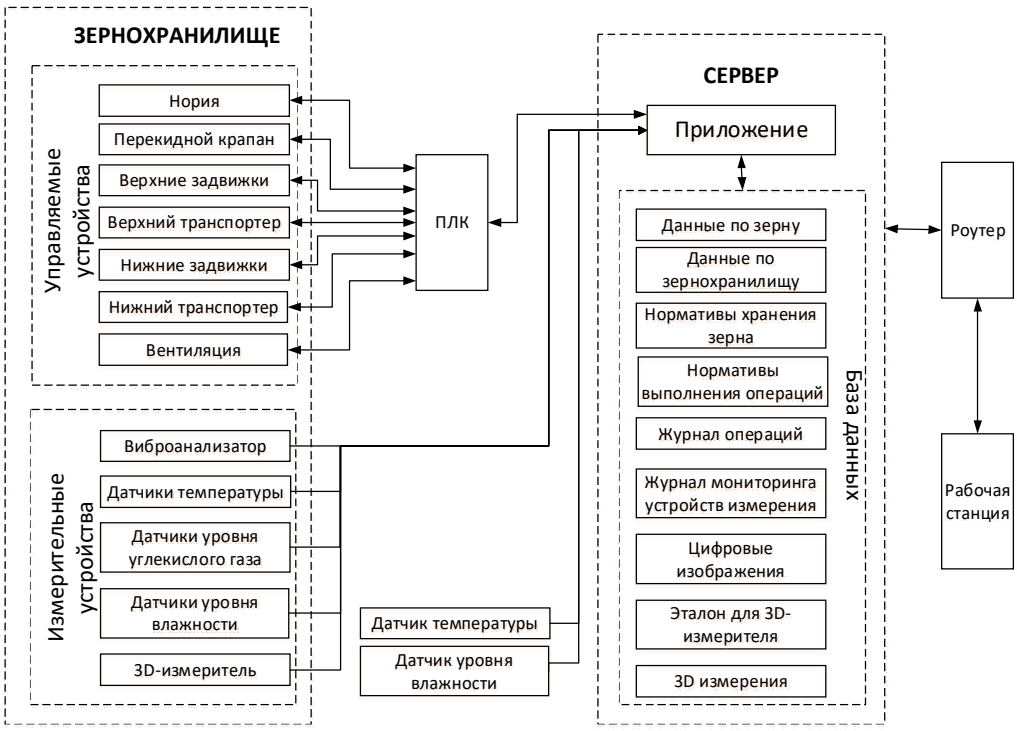


Рисунок 1 Структурная схема интеллектуального комплекса мониторинга и управления зернохранилищем с горизонтальными силосами

Выгрузка из силосов осуществляется через выгрузные щели, снабженные заслонками, именнованными нижними. Зерно через выгрузные щели попадает в нижний скребковый транспортер, который направляет зерно на норию для загрузки зерна в бункер.

В соответствии с правилами хранения зерна, каждая секция снабжается вентиляцией для сохранения температурного режима хранения зерна.

Измерительные устройства производят сбор информации о состоянии технологического процесса и технологического оборудования. Данные с измерительных датчиков и датчиков устройств поступают по аналоговым и цифровым интерфейсам и обрабатываются приложением (информационной системой), расположенной на сервере. Измерительные устройства для мониторинга качества хранения зерна представлены:

–температурными датчиками зерна в каждой секции зернохранилища;

–датчиками уровня влажности зерна в каждой секции зернохранилища;

–датчиками уровня углекислого газа в каждой секции.

Для этой же цели вне зернохранилища установлены датчики температуры и влажности окружающей среды.

3D-измеритель – это сборные панели с камерами и комплектами лазерных диодов, позволяющий получить облако точек поверхности зерна в зернохранилище. Данное измерительное устройство используется для контроля уровня и объема зерна в хранилище. Методика создания 3D-измерителя и организации регистрации 3D измерений была подробно расписана авторами в работе [2].

Виброанализаторы запускаются при работе верхнего и/или нижнего транспортера и передают в систему показания напряжений в дискретные моменты времени. В соответствии с теорией идентификационных измерений [3], идентификационный показатель по результатам измерений виброанализатора является критерием оценки угрозы возникновения разрыва цепи верхнего или нижнего скребкового транспортёра.

Текущие данные мониторинга с измерительных устройств через дискретные промежутки времени передаются на удаленный сервер, где аккумулируются в базе данных, компоненты которой отображены на рисунке 1. Обработка данных и формирование управляющих сигналов для управляемых устройств осуществляется с помощью программного компонента. Управляющий сигнал поступает на ПЛК (программируемый логический контроллер), где по разработанному алгоритму на основе идентификационных измерений проводится их цифровая обработка и вырабатываются сигналы регулирования и управления исполнительными устройствами (управляемые устройства) для поддержания технологического процесса в пределах установленных норм. В случае возникновения критической ситуации (нарушение производственного процесса, срабатывание охранной сигнализации и т.д.) данные по тревоге доставляются пользователю в виде push-уведомлений.

Для удаленного контроля над зернохранилищем в системе используется архитектура сети передачи данных с доступом в Интернет по стандарту 4G. Управление сетью передачи данных реализовано на основе маршрутизаторов tp-link wr1043nd с предустановленным дистрибутивом OpenWRT.

3. Проектирование информационной системы

Информационная система является «мозгом» интеллектуального комплекса бесконтактного мониторинга и управления зернохранилищем с горизонтальными силосами, так как обрабатывает показания измерительных устройств и вырабатывает управляющие воздействия на их основе. Информационная система расположена на сервере и состоит из двух традиционных компонентов: базы данных (компоненты представлены на рисунке 2) и приложения (комплект исполняемых скриптов).

Функциональная модель информационной системы в виде диаграммы IDEF0 (рисунок 2), наиболее наглядно демонстрирует ее возможности. В системе выделено шесть основных модулей. Модуль «3D измерения» обрабатывает результаты измерительного устройства поверхности зерна (3D-измеритель), на выходе выдает максимальное значение высоты насыпи в секции и объем зерна в зернохранилище.

Модуль «Настройка нормативов», представляет собой интерфейс для ввода и редактирования: параметров зернохранилища (размеры силоса, размещение панелей 3D-измерителя); параметров зерна (вид зерна, угол естественного откоса,

максимально возможная высота насыпи); постоянные параметры технологического процесса (временные интервалы для загрузки, выгрузки, перемешивания, мониторинга датчиков измерительных устройств); нормативы хранения зерна (на основании утвержденных правил хранения зерна [4]).

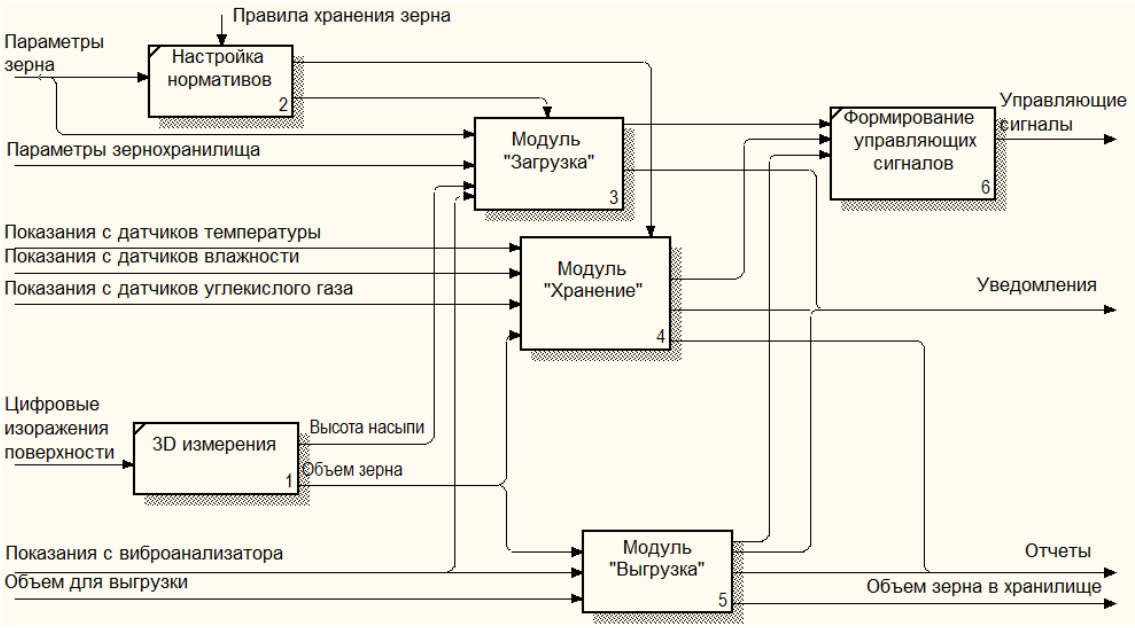


Рисунок 2 Функциональная модель информационной системы автоматизированного мониторинга и управления зернохранилищем

Модуль «Загрузка» осуществляет программную поддержку технологической операции загрузки зерна. Для осуществления загрузки оператор должен указать номера, заполняемых секций, вид зерна и влажность загружаемого зерна. Максимальная высота насыпи для каждого вида зерна при разной влажности может значительно различаться [5]. Информационная система контролирует высоту насыпи в процессе загрузки с помощью 3D-измерителя и завершает процесс загрузки с помощью верхней задвижки. С помощью диаграммы PFDD (Process Flow Description Diagrams, Описания Последовательности Этапов Процесса) на рисунке 3 документируется последовательность и описание стадий исследуемой технологической операции. Наиболее важный момент, который необходимо учитывать при загрузке, высота насыпи зерна. Максимально возможная высота насыпи зависит от вида зерна и влажности зерна ($\varepsilon(\delta,U)$) [3]. Кроме того, необходимо учитывать максимально возможную высоту насыпи в секции зернохранилища (h). Таким образом можно определить высоту насыпи загружаемого зерна по формуле: $\min(\varepsilon(\delta,U),h)$.

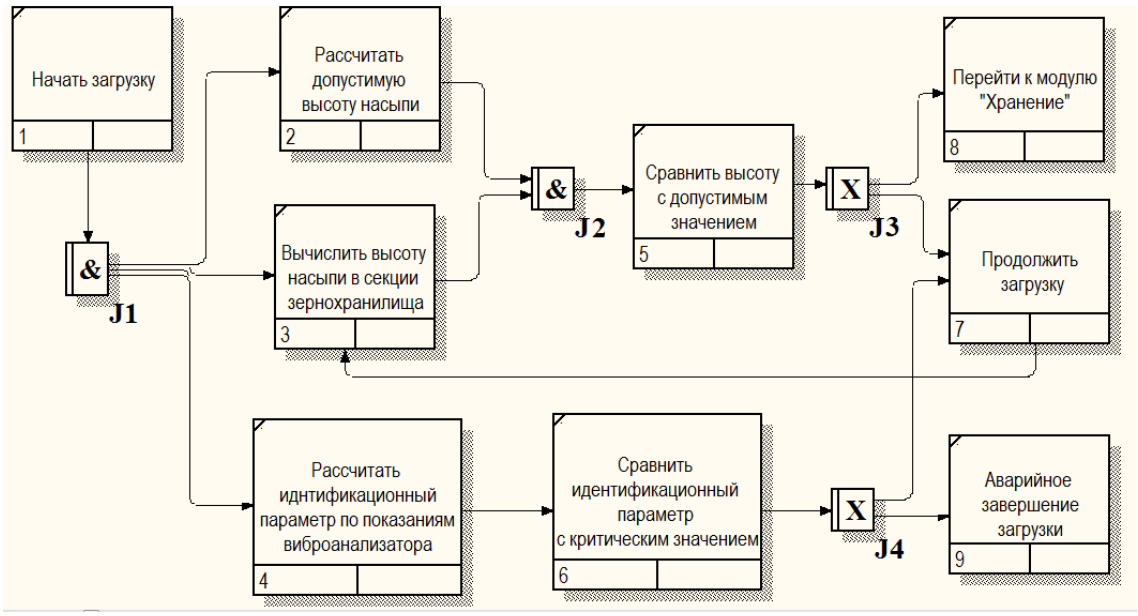


Рисунок 3 Диаграмма последовательности этапов модуля «Загрузка»

Анализ виброизмерений основывается на теории идентификационных измерений [4]. Определяется идентификационный параметр по формуле:

$$NF = \left[\frac{\max(G^N) - \min(G^N)}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} (g_i - \bar{g})^2} \right]^2, \quad (1)$$

где $G^N=[g_1, g_2, \ldots, g_N]$ – значения напряжений считанных виброанализатором.

Идентификационный параметр не должен превышать установленное критическое значение NFk=0,6, иначе может возникнуть угроза разрыва цепи транспортера.

После окончания процесса загрузки система переходит в режим хранения. В процессе хранения система должна осуществлять мониторинг основных параметров зернохранилища: температуры, влажности, уровня углекислого газа и объема зерна в секциях, рассчитанных на основе 3D-измерений поверхности зерна. Стадии операции хранения представлены на рисунке 4. Анализ работ по автоматизации зернохранилищ [6-13] показал, что не существует работ с полным перечнем условий качественного хранения зерна по показаниям датчиков температуры, влажности, углекислого газа. В данной работе авторы попытались восполнить данный пробел на основе правил хранения зерна, приведённых в работах [4,5,14,15]. Согласно правилам хранения зерна: необходимо выполнять перемешивание зерна через интервал времени, зависящий от вида зерна и установленной длительности хранения; слишком влажное зерно, идентифицируемое по значениям датчиков температуры и влажности, запускает подрежим «Перемешивание»; слишком сухое

зерно требует сокращения срока хранения; превышение критического значения уровня углекислого газа должно запускать подрежим «Проветривание» (включение вентиляторов); резкое сокращение объема зерна при учете формулы Дюваля говорит о возможности хищения зерна.

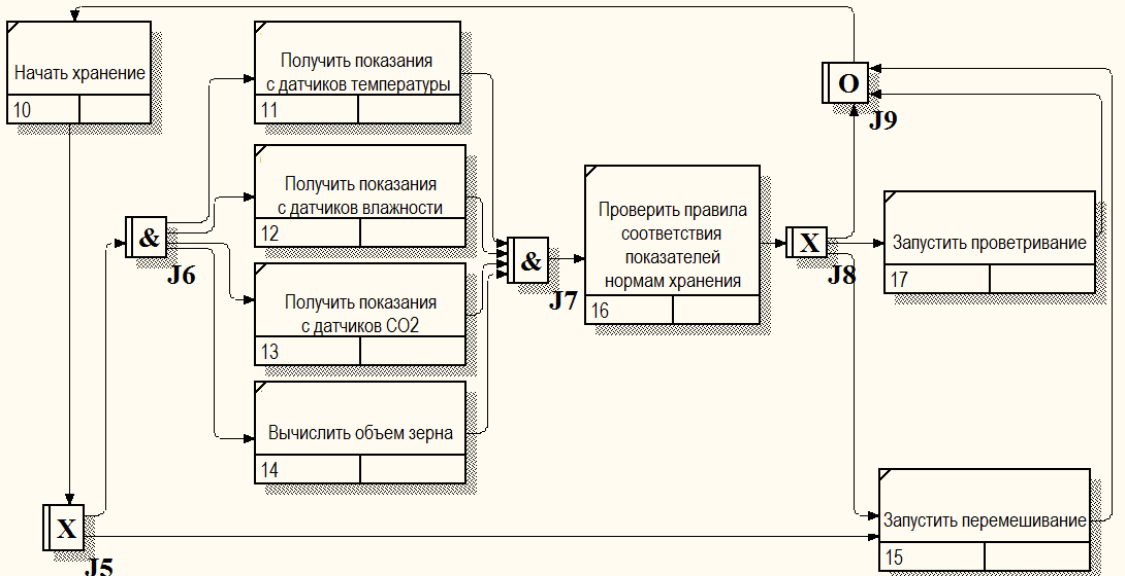
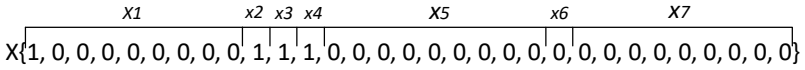


Рисунок 4 Диаграмма последовательности этапов модуля «Хранение»

Переход в режим «Выгрузка» осуществляется сигналом оператора. Диаграмма модуля «Выгрузка» представлена на рисунке 5. Оператор указывает объем зерна для выгрузки. После завершения режима выгрузки, автоматизированный технологический процесс заканчивается в пустом силосе или осуществляется переход в режим «Хранение», если зерно в силосе осталось.

Модуль «Формирование управляющих сигналов» формирует набор управляющих сигналов для транспортного оборудования зернохранилища инновационного вида. Управляющий сигнал для оборудования имеет вид X $\{X_1^{\gamma}; x_2; x_3; x_4; x_5; X_6^{\gamma}; X_7^{\gamma}\}$, где X_1^{γ} – одномерный битовый массив значений соответствующих управлению верхними задвижками γ секций (1 – открытое положение задвижки, 0 – закрытое положение); x_2 – определяет положение перекидного клапана (1- режим загрузки, 0 – режим выгрузки); x_3 – определяет состояние верхнего конвейера (1 – пуск, 0 - останов); x_4 – определяет состояние нории (1 – пуск, 0 - останов); x_5 – определяет состояние нижнего конвейера (1 – пуск, 0 - останов); X_6^{γ} – одномерный битовый массив значений соответствующих управлению нижними задвижками γ секций (1 – открытое положение задвижки, 0 – закрытое положение); X_7^{γ} – одномерный битовый массив значений соответствующих управлению вентиляторами γ секций (1 – пуск, 0 – останов). Для лучшего понимания приведём пример сигнала на загрузку первой секции из 9:



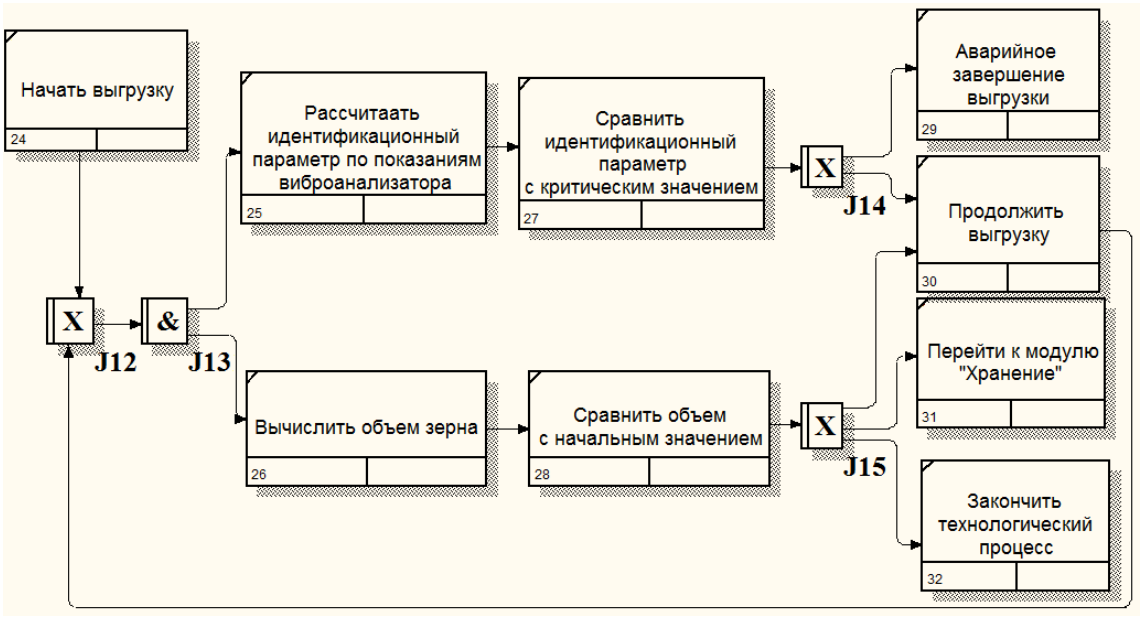


Рисунок 5 Диаграмма последовательности этапов модуля «Выгрузка»

В целом алгоритм представляет собой обычный оператор выбора, где в случае выполнения той или иной операции формируется определенный сигнал. Здесь интерес представляет способ формирования сигнала для управления верхними, нижними задвижками, включения и отключения вентиляции. Функция для управления верхними и нижними задвижками и включения вентиляции выглядит следующим образом:

$$X_i = f_1(\varphi) \Rightarrow \forall x_j^* \in X_i, где \;\; i = 1,6,7, \;\; j = 1..\gamma,$$
$$x_j^* = \begin{cases} 1, где \;\; j = \varphi \wedge \varphi \neq 0 \\ 0, где \;\; j \neq \varphi \vee \varphi = 0 \end{cases} \qquad (2)$$

где φ - номер секции, а γ - количество секций в зернохранилище.

Функция для отключения вентиляции в указанной секции:

$$X_7 = f_2(\varphi) \Rightarrow \forall x_j^* \in X_7, где j = 1..\gamma, \;\; x_j^* = 0, где \; j = \varphi \qquad (3)$$

4. Результаты исследования

В результате выполненного исследования была разработана пилотная версия информационной системы автоматизированного мониторинга и управления зернохранилищем с горизонтальными силосами. Информационная система включила в себя такие программные компоненты как: «Main» - общий алгоритм;

«Mode_load» - алгоритм режима «Загрузка»; «Mode_unload» - алгоритм режима «Выгрузка»; «Mode_storage» - алгоритм режима «Хранение»; «CO2_monitor» - алгоритм мониторинга CO2; «TU_monitor» - алгоритм мониторинга температуры и влажности; «Transfer_grain» - алгоритм режима «Перемешивание»; «Vibro_analyser» - алгоритм вибродиагностики транспортного оборудования; «X_signal» - алгоритм формирования управляющих сигналов. Модуль «3D измерения» потребовал дополнительной разработки следующих компонентов: «Calibration» - алгоритм калибровки, позволяет получить эталонные значения по расположению лазерных пятен на изображении каждого набора с одной камерой; «3D-calculator» - алгоритм нахождения расстояний до поверхности для каждого лазера; «Volume» - алгоритм рассчета объема зерна в секции; «read_image» - алгоритм распознавания точек на изображении и нахождение их центр масс; «create_node» - алгоритм создания из точек узлов регулярной сетки; «sort_point» - алгоритм сортировки точек по четвертям, по углу отклонения от горизонтальной оси, по расстоянию от центра изображений; «h_distance» - алгоритм определения фиксированного расстояния от камеры до каждого лазера комплекта; «def_distance» - алгоритм рассчета расстояний до поверхности; «sort_node» - алгоритм сортировки точек по узлам регулярной сетки; «set_volume» - алгоритм расчета объема области по точкам с каждого изображения; «center_volume» - алгоритм расчета объема области между изображениями; «border_volume» - алгоритм расчета объема по границе секции; «triangle_prism» - алгоритм расчета объема треугольной косоусеченной призмы; «poly_Lagrange» - алгоритм уплотнения облака точек с помощью полиномов Лагранжа.

Интерфейс разработанной информационной системы реальзован в соответствии с рисунком 6.

Рисунок 6 Интерфейс информационной системы мониторинга и управления зернохранилищем с горизонтальными силосами

Рассмотрим содержание вкладок, представленной информационной системы: вкладка «Главная» - содержит справочную информацию; вкладка «Настройка» - изменение установочных значений информационной системы (модуль «Настройка нормативов»); вкладка «Анализ» - отчеты по технологическому процессу и работе оборудования; складка «Мониторинг» - мониторинг и управление технологическим процессом. На вкладке «Мониторинг» установлено отображение: текущей даты/времени, значения с внешних датчиков температуры и влажности, журнал сбоев работы оборудования, кнопки управления оборудованием (серый – выключено, синий – включено, красный – исключительная ситуация), кнопки управления секциями загрузка/стоп и выгрузка/стоп (серый – не доступна, синий – доступна к исполнению, красный - стоп), информационные блоки по секциям (серый – пустая, синий - заполненная).

5. Заключение

В данной статье авторы описали проект информационной системы мониторинга и управления зернохранилищем инновационного типа на основе анализа параметров температуры, влажности, уровня углекислого газа и 3D-измерений поверхности зерна. Наибольшая значимость работы заключается в автоматизации технологического процесса хранения зерна в виде поддержки работоспособности интеллектуального комплекса, включающего управляемое (исполняемое) оборудование, измерительные устройства, ПЛК и информационную систему, расположенную на сервере с возможностью удаленного доступа.

Данная информационная система позволяет обрабатывать результаты замеров, выдавать результаты анализа в виде управляющих сигналов и рекомендаций по работе зернохранилища. В разработке информационной системы учитывались научные знания и достижения в области хранения зерна и теории идентификационных измерений [16].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Astapenko N., Koshekov K., Kashevkin A. Automated Control Scheming of Granary Operating Procedures// Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: 2321 – 0893), 2017. – vol. 05, no. 03. – pp. 634-641.

[2] Astapenko N., Koshekov K., Kolesnikov A. Methodology of automatic registration of 3D measurements of bulk materials in granaries// Computer Optics (ISSN: 0134 – 2452), 2018. – vol. 42, no. 03. – pp. 510-520, 2018.

[3] Koshekov K., Klikushin Yu., Savostin A., Sofyina N., Astapenko N., Kashevkin A., Koshekova B. Modernization of vibrational analysis based on identification measurements// Defectoscopy, 2018. – no. 5. – pp. 26-32.

[4] Правила хранения зерна// Утвержденные приказом Министра сельского хозяйства РК 26.07.2015 №4-1/573.

[5] Карпов В., Чиркова А., Могдалев П. Учебно-методическое пособие// Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, 2007. – 63с.

[6] Vinayaka H and Roopa. Intelligent System for Monitoring and Controlling Grain Condition Based on ARM 7 Processor// International Journal of Latest Technology

in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS), 2016. – vol. V, no. VII. – pp.6-10.

[7] Xiaofan L. and Huiyuan L. Design of Full-digital Measurement and Control System on Grain Situation// Advanced Materials Research Online: 2013-09-04, ISSN: 1662-8985, 2013. – vols. 765-767. – pp.1849-1853, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.765-767.1849.

[8] Vinay S. S. and Mahesh S. K. Real Time Monitoring & Controlling System for Food Grain Storage// International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2014. – vol. 3, special no. 3. – pp.734-738.

[9] Jian S., Kai W. and Xiaochen Zh. Measurement and Control System Based on Wireless Senor Network for Granary// 5th International Conference on Education, Management, Information and Medicine (EMIM 2015), 2015. – pp.256-260, DOI: 10.1016/j.phpro.2012.02.083.

[10] Galande S., Agrawal G., Anap M. A Parameter Monitoring and Control Of Grain Storage By Embedded System// International Journal of Informative & Futuristic Research ISSN (Online): 2347-1697, 2015. – vol. 2(11). – pp. 4172-4179.

[11] Zou Z., Wang Y., Zhou M. Design of ZigBee & ARM Technology based Granary Monitoring System// 3rd IEEE Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). Chongqing, PEOPLES R CHINA, 2017. – pp. 835-838.

[12] Raju Gona1 P. Advanced System for Monitoring and Controlling of the Grain Condition Based on ARM7// International Journal of Innovative Technologies (ISSN 2321-8665), 2015. – vol.03, no. 04. – pp. 0571-0576.

[13] Dantre P., Karwal A. The ARM Based Granary Environmental Monitoring and Controlling System using ZigBee// International Journal of Recent Research in Electrical and Electronics Engineering (IJRREEE) (ISSN 2349-7815), 2016. – vol. 3, no. 2. – pp. (30-33).

[14] Пилипюк В. Технология хранения зерна и семян// IPR MEDIA; Саратов, 2008. – 310с.

[15] Managing Stored Grain// Sukup Manufacturing Co, 2016. – P.14.

[16] Тулешов А.К. Кошеков К.Е., Демьяненко А. Электроснабжение и компьютерное управление опытным зернохранилищем// Монография. – Palmarium Academic Publishing. Saarbrucken, Deutschland/Germany: Omni Scriptum GmbH & Co.KG, 2014. – 112 с. ISBN 978-3-639-87585-0.

КОМПАНЬОНЫ АБЕЛЕВОЙ ГРУППЫ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ И ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНО ЗАМКНУТЫЕ АБЕЛЕВЫ ГРУППЫ БЕЗ КРУЧЕНИЯ

Хисамиев З.Г.
KhisamievZ@mail.ru

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В работе изучаются компаньон-модели абелевых групп без кручения, это исследование является примером изучения классического объекта посредством теории классов Фрэсе разработанной Нуртазиным А.Т. В исследовании описаны экзистенциально замкнутые абелевы группы без кручения и, с точностью до изоморфизма, найдено их число.)*

В данном разделе рассматриваются только группы из класса $\mathcal{A}$ абелевых групп без кручения. Класс компаньонов группы A обозначается $C(A)$ [1].

ТЕОРЕМА 1. Каждая абелева группа без кручения является компаньонм абелевой группы целых чисел Z, $\mathcal{A} = C(\mathrm{Z})$.

Доказательство. Докажем только включение $\mathcal{A} \subseteq C(\mathrm{Z})$. Пусть $\mathrm{A} \in \mathcal{A}$, ограничимся рассмотрением экзистенциального предложения $\exists \bar{x} \varphi(\bar{x})$, истинного в A, в виде системы равенств и неравенств $\varphi(\bar{x}) = S'\bar{x}^* = 0 \,\&\, S''\bar{x}^* \neq 0$, где $\bar{x}=(x_1,...,x_m), \bar{x}^*$ – транспонированный столбец строки $\bar{x}$, 0 – столбцы нулей соответствующей группы и $S' = (s'_{ij}); i = 1,...,m; j = 1,...,n'; S'' = (s''_{ij}); i = 1,...,m; j = 1,...,n''$ – целочисленные матрицы. Пусть $\mathrm{A} \models S'\bar{b}^* = 0 \,\&\, S''\bar{b}^* \neq 0$, для некоторого $\bar{b} \in \mathrm{A}$. Так как A является подгруппой прямой суммы полных абелевых групп без кручения $\mathrm{A}' \in \mathcal{A}$ [2], то пусть $\bar{b} = T\bar{a}^*$, где $\bar{a} = (a_1,...,a_k)$, $a_1,...,a_k$ – линейно независимые элементы в A′, $T = (t_{ij}); i = 1,...,k; j = 1,...,m$ – целочисленная матрица. Тогда, $\mathrm{A}' \models S'T\bar{a}^* = 0 \,\&\, S''T\bar{a}^* \neq 0$. Так как элементы $a_1,...,a_k$ – линейно независимы, то из $\mathrm{A}' \models S'T\bar{a}^* = 0$ вытекает, что $S'T$ – нулевая матрица. Пусть $q = \max\{|u_{ij}| : S''T = (u_{ij})\}$, положим $\bar{\alpha} = (p^{k-1},...,p,1)$, здесь $p = q + 2$. Пусть в строке $\bar{u}_i = (0,...,u_{ij},...,u_{ik})$ матрицы $S''T$ первый ненулевой элемент это u_{ij}, тогда имеем

$$|\bar{u}_i\bar{\alpha}^*| = |u_{ij}p^{k-j} + ... + u_{ik-1}p + u_{ik}| \geq |u_{ij}|p^{k-j} - (|u_{ij+1}p^{k-j-1}| + ... + |u_{ik-1}p + |u_{ik}|) \geq$$
$$|p^{k-j} - (|u_{ij+1}|p^{k-j-1} + ... + |u_{ik-1}|p + |u_{ik}|) >$$
$$p^{k-j} - ((p-1)p^{k-j-1} + ... + (p-1)p + (p-1)) = p^{k-j} - (p^{k-j} - 1) = 1$$

Таким образом, $S''T\bar{\alpha}^* = S''\bar{\beta}^* \neq 0$, где $\bar{\beta} = (\beta_1,...,\beta_m)$, $\bar{\beta}^* = T\bar{\alpha}^*$. Теорема доказана.

Перейдем к описанию экзистенциально замкнутых групп в классе $\mathcal{A}$.

ТЕОРЕМА 2. Полные абелевы группы без кручения и только они являются экзистенцияально замкнутыми в классе абелевых групп без кручения.

Доказательство. Пусть A – полная абелева группа без кручения, B – расширение этой полной группы A, $\mathrm{A} \leq B$. Группа B является подгруппой

некоторой полной группы A' [2], тогда $A \le A'$, отсюда по известной теореме теории моделей A' является элементарным расширением A. В частности, A экзистенционально замкнуто в A' и следовательно экзистенциально замкнуто в B.

Пусть теперь A – экзистенциально замкнутая группа в заданнок классе $\mathcal{A}$. Пусть, далее n – целое число и $a \in A$. Группа B является подгруппой некоторой полной группы A'. Тогда, в группе A' уравение $nx = a$ имеет решение. Отсюда в экзистенциально замкнутой группе A это уравнение также имеет решение. Теорема доказана.

ТЕОРЕМА 3. Число неизоморфных счетных экзистенциально замкнутых групп в классе абелевых групп без кручения счетно.

Доказательство. Размерность абелевой группы равна числу прямых слагаемых равных абелевой группе рациональных чисел [2]. Полные абелевы группы имеющие одинаковые размерности изоморфны. Абелевы группы разных размерностей неизоморфны. Теорема доказана.

Литература

1. Нуртазин А.Т. Введение в теорию моделей, элиминация кванторов и экзистенциальная замкнутость. – Алматы: НЦ ГНТЭ, 2017.– 187с.(ISBN 978-601-332-022-9).

2. Каргаполов М.И., Мерзляков Ю.И. Основы теории групп.–Москва: Наука,1982.–288с.

СЕКЦИЯ 2

Ақпараттық-телекоммуникациялық технологиялар. Деректерді жіберу желілері мен жүйелері. Интернет технологиялар. Бұлттық технологиялар. Параллельді есептеу. Үлестірімділік есептеулер. Суперкомпьютерлік және кластерлік жүйелер. Үлкен көлемді деректерді (Big-data) өңдеу. Геоақпараттық жүйелер және технологиялар. Инновациялық оқыту технологиялары

Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы и сети передачи данных. Интернет-технологии. Облачные технологии. Параллельные вычисления. Распределённые вычисления. Суперкомпьютерные и кластерные системы. Обработка больших объёмов данных (Big-data). Геоинформационные системы и технологии. Инновационные образовательные технологии

Information and telecommunication technologies. Systems and networks of data transmission. Internet technologies. Cloud technologies. Parallel computing. Distributed computing. Supercomputer and cluster systems. Processing large volumes of data (Big-data). Geoinformation systems and technologies. Innovative educational technologies

SMART EDUCATION, SMART SOCIETY

Abilova P.N.
e-mail: aperizat86@mail.ru
L.N. Gumilyov Eurasian National University

Abstract. *This article discusses the topic of smart education, smart society. Smart society creates new conditions and opportunities for the economic, social and cognitive development of mankind, the development of personality. The author reveals the tasks of the basic principles of smart education and smart society.*

Keywords*: smart society, smart-technologies, smart-boards, smart education.*

There is a new level of society, a new state of information society, called Smart-society and has a qualitatively different infrastructure, not only information exchange and scientific and educational activities, but also the entire human life. Smart society creates new conditions and opportunities for economic, social and cognitive development of mankind, personal development.

Just yesterday, a new quality of life for us was represented by "smart" houses, where equipment and systems automatically, without human intervention, serve the daily needs of individual families living in them. Today, the most important trend is the creation of smart cities that will completely free the population from social and communal problems: traffic jams, queues, energy dependence and lack of control of urban structures.[2] Today, our homes, cars, money, and in developed countries, entire industries have become" smart". But tomorrow - as futurologists do not doubt-smart technologies will finally penetrate into all spheres of human activity, radically changing the direction of social development, rapidly bringing us closer to the smart-society.

In a smart society, as it is described by the founders of this popular concept, the growth of accessibility and openness of information resources and means of communication, along with the development of Internet technologies, radically changes all elements of the social paradigm: economy, social policy, education, labor relations.

An important task of education development is the formation of a modern education system based on Smart technologies. The development of education requires the transformation of its content, methods and tools. A transition to Smart education is needed.

In the traditional, familiar system, the student comes to school, where the teacher tells him a new topic, then he returns home and does his homework. In the new scheme, the student listens to all the lectures at home (via computer or TV), then he comes to the class and there under the supervision of the head performs the task on the topic that he has just listened remotely.

As an example of the use of Smart-technologies in education, consider the use of Smart-boards. This technology allows you to combine information and communication technologies and traditional organization of the educational process. On Smart-boards you can write, demonstrate educational material, make comments on top of the image. All images on the interactive whiteboard can be stored on magnetic media, printed, sent by e-

mail. The material developed during the lesson is recorded by the built-in video recorder and can be played repeatedly.

The main idea of SMART education, allows you to prepare a person for life and work in the conditions of the society, where the main component of its existence and development will be knowledge.

Another property of smart education is that IT becomes continuous. If earlier people studied at school, then at University, and then at best received an MBA degree, now people are forced to study literally always. This is also one of the signs of the new SMART education.

Pic. 1 Smart education, smart society

Basic principles of smart education

1. The use of relevant information to solve educational problems in the educational program. The volume of information flow, its speed in education and in any professional activity are growing rapidly. It is necessary to Supplement existing teaching materials with real-time information to prepare students to solve practical problems and work in a real situation.

2. Organization of independent cognitive, research, project activities. This principle is the main one in the training of specialists who are ready for creative search for solutions to professional problems, for independent information and research activities.

3. Implementation of the educational process in a distributed learning environment. Today, the educational environment is not limited to the territory of the educational institution or the distance learning system (LMS).[1] The learning process should include learning in a professional environment, using the means of professional activity. The learning process should be continuous.

4. Students ' interaction with the professional community. The professional environment should become an active participant in the educational process, and not only be a customer for training. ICT give students new opportunities to participate in the

activities of professional communities, to observe the solution of problems by professionals.

5. Flexible educational trajectories, individualization of learning. The educational sphere is significantly expanding due to the involvement of working citizens in the educational system, due to the frequent change of activity and the intensive development of technology. As a rule, students of educational institutions are aware of the need for education. The task of the University is to provide educational services in accordance with the needs and capabilities of the student. [5]

Implementation of the principles of smart education on outdated approaches to the creation of educational materials will not lead to the desired effect. Educational resources of a new type are needed, which are complex educational material created and updated on the basis of technological innovations and Internet resources and containing a systematic presentation of knowledge in the subject area.

Advantages of smart education

Innovative approach to the presentation of educational material: the formation of a knowledge base and competencies in the course of solving a real cross-cutting business problem, the training material is studied in order to solve different modules of the problem.

Dynamic channel of teacher-student communication: teacher functions are redistributed between the textbook and the tutor, and the student is a co-author of the course.

Dynamic content: update the material without having to download the tutorial again.

New information technologies: application of cloud technologies for storing material and information about student's progress (Tin Can API).

Advantages for the student

Mobility: no dependence on a desktop computer, implementation of the concept of mobile learning.

Expansion of technical capabilities: no binding to a specific browser, full interaction with the device.

Paradigm shift: LMS elements are integrated into the learning material, not Vice versa (as on campus) .

Support for any educational services: the widget system allows you to embed any services that support the API.

Building an individual approach to learning: by collecting statistics on the use of the textbook and access to the widget, the teacher can correct the content.

Thus, smart education has a great potential for improving the efficiency of modern education. Smart education is able to provide training of personnel with the necessary knowledge and skills, which is important in the development of society, economy and technology.

Literature:

1. Smart education as the main paradigm for the development of the information society - Tikhomirov VP, Dneprovskaya N.V. 2015

2. The basic principles of the system of SMART-education-Agranovich BL, Yakushkina EI, 2012
3. "Korean education recipes" - Boris Slavin, 10/13/2014
4. Smart tutorials in smart education. New content paradigm - Peter Nevostruev, 2014
5. A new approach to education: technology for training and development of Smart Education URL: https: //multiurok.ru/index.php/files/novyi-podkhod-v-obrazovanii-tiekhnologhiia-obuchie.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR CLASSIFYING BASED ON THE METHODS OF FEATURES DATA REDUCTION AND PIECEWISE LINEAR SEPARATION

Krak[1] Iu., Amirgaliev[2] E., Wojcik[3] W., Barmak[4] O., Manziuk[4] E.
e-mail: krak@univ.kiev.ua, waldemar.wojcik@pollub.pl,
eduard.em.km@gmail.com
[1]Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,
[2]Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan
[3]Lublin University of Technology, Lublin, Poland
[4]National University of Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine

Abstract. *The article discusses information technology for classifying data using multidimensional space characteristic reduction methods to the level of data visualization. The components of the steps of using information technology are discussed in detail. The basis is the reduction of the multidimensional feature space into a space that can be visualized. The next step is the construction of piecewise linear class separators on the training set. In the future, the boundaries are projected into the original multidimensional feature space. Thus, the boundaries of classes are determined, which is in the proposed technology a trained classification system. The advantage is the construction of a flexible non-linear classification system using piecewise linear separators. The proposed method is based on the use of visualization data. A distinctive feature of information technology is that for construction of class delimiters is done by including the user. The user on the basis of visual data analysis determines the location of the boundaries of classes and gaps. Thus, the technology provides convenient tools for the person to analyze and classify data.*

Keywords: *information technology, multidimensional feature space, data visualization, decreases in feature space, classification.*

Introduction and problem statement

The problem statement that is solving in this article it researches and development of information technology for classifying data using visualization of the multidimensional feature space. The main goal of the research was to combine visualization and classification into one system. This will improve a number of important parameters, such

as visual data analysis, the development of classifiers with the necessary parameters, the interpretation of the classification, the identification of hidden patterns in the data and others.

In many cases, to analyze data, determine the quality of classification, identify clusters, and many other applications, they use visualization of the attribute data space. Visualization is a very powerful informational direction that is convenient for a person [1-6]. Information richness in visualization is very large. Very often to demonstrate the work of classifiers use a two-dimensional classification with the display of objects and the boundaries of their separation. At the same time, the separability of classes and the distance between classes are well visually well analyzed. Visualization is also important when clustering data and allows you to visually show the aggregation and grouping of data. Visualization is the only opportunity to demonstrate hidden structures and forms of combining data into clusters and sub clusters as well as single objects that are not included in the clusters. Note that visualization is very effective additional tool for more understanding, interpretation and solving a lot of problems, for example, for packing [7, 8], for communicative information problems solving [9-11]. When clustering, visualization is one of the most important areas, which allows to evaluate the quality of clustering.

Another important aspect that is also used in clustering is the evaluation of the quality and efficiency of a particular method. Evaluation makes the person based on the visual presentation of data. Data in most cases are presented in two-dimensional space, as the most convenient for visual perception by person. The text has a high dimension of features that form the structure and have several features in the classification [12,13]. The visual presentation of the text requires a significant reduction in the dimension, which in general loses information content

The real data in the classification have a complex structure. Spatial grouping of classes in many cases when using classifiers does not allow building an acceptable separator. Since the separation line is generally non-linear and its construction by automatic methods is not always possible with the required quality of classification. On the other hand, the assessment of the quality of building class division lines is evaluated visually.

Research objective was to develop information technology that allows you to build classifiers, using a visual representation of the data with the construction of nonlinear class separators. The result of using the technology is to reduce the dimension of features to a visually possible representation, then class separators are built that are projected onto the original multidimensional feature space. Thus, the classifier is trained, as a result, hyper dividing planes are built in the multidimensional space.

1 Related work

Our work is based on previous studies in the field of visual analysis and direct manipulation on point plots of reduced dimension. Using visualization to analyze data in machine learning is a pretty broad topic. Since the use of visualization allows to reveal many aspects and is important for human understanding. It should be noted there are a lot of studies with any use of visualization. Recent trends in visual analytics are the development of interactive user interfaces in order to obtain predictive models using

machine learning techniques [14]. In these works, the analyst must act as an expert and understand how computer models work. Models work as an additional analysis tool. A visual analysis should help the analyst consciously manage the model.

The definition of "visual analytics" is actively developing and updated with new aspects of the definition. Visual analytics is designed to replenish and expand knowledge about data. Sacha et al. [15] define knowledge that is obtained through visual analytics as a valid understanding that is supported by evidence. The analyst expands his knowledge of data by observing their behavior as a result of manipulation of it. This process is followed by interesting interpretable observations. Observations are interpreted, aggregated and evaluated. Enhancing understanding is process-oriented research. Visual analytics is a research process that in general is not aimed at achieving a previously set goal [16]. In the analysis process, various observations may occur that depend on the analyst's qualifications and interpretation. Not all behaviors can be seen and correctly interpreted. Moreover, not all observations are important. Sacha et al. [15] emphasize that analysts, based on their competence, evaluate observations by their importance. The analyst has a vision of what observation is important in achieving a goal in the analysis process. Depending on the tasks of visual analytics, the analysis is aimed at describing, predicting or developing behavioral variants of the resulting states [15].

The model allows describing the relationship between the data, predicting the behavior of future data using existing ones or evaluating the consequences of possible behavioral actions. The purpose of visual analysis is to obtain advanced information about the data. This process is iterative and well presented as a process of extracting new knowledge from data [17,18].

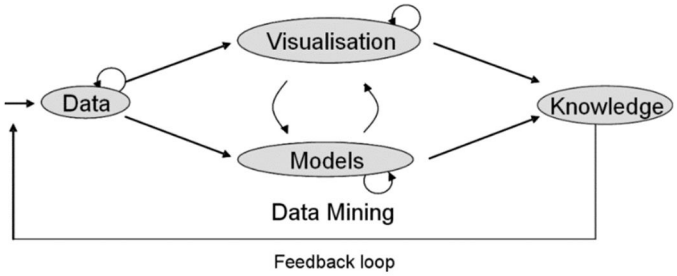


Fig. 1 Visual data exploration [17]

This scheme is basic, developed and widely used in works on visual analytics [16,19,20]. It should be noted that there is a lot of research in the field of visual analytics. The main goal of the research is the formation of a good informative picture for the analyst and productive interaction with the visual analysis tool. In this regard, it is necessary to measure the quality of visualization [21,22, 23]. Effective visualization is to show as much information as possible in the simplest form. This aspect is very important because it allows expanding the use of visual analytics for analysts with different qualifications. Thus, the trends in the use of visual analytics indicate an increasing involvement of human in the process of extracting knowledge from data and developing visual analytic workflow. According to Figure 1, one of the main parts of analytics is the model.

Due to the great involvement the human, the concept of a model is changing. The goal is to build a mental model of human understanding of a certain piece of reality reflected in data. Computer-generated artifacts labeled as 'features, patterns, model components, ...' and not as a model [16, 24]. The model built in the mind of the human analyst. A human becomes an integral part of the analytical system and its main brain part. A human has priority knowledge and is able to build the model he needs for use in the analysis. The result of the analysis is the construction of a mental model in the human mind. In this regard, data transformation comes to the fore. Data transformation is an important stage for visual analytics [25]. Data transformation should provide visual representativeness of information according to the purpose of the study.

If a human becomes an integral part of the analytical system, it is necessary to provide effective feedback from the human to the system. Since the mental model is built in the human mind, it is necessary to ensure the mapping of the mental model into the analytical system. Inside the analytical system, there should be a mapping of the mental model. The human needs to provide an effective tool for interacting with the analytical system. We give an example on the classification of data. Visually, the data is arranged so that for a human it is obvious that the data is divided into two classes. This concept has developed in mind of the human and is a mental model. It is necessary to ensure the mapping of the mental model into the internal model of analytical system. The human must be equipped with the ability to indicate the boundaries of classes or the boundaries of the separation of classes in the visual analytics system. The boundaries of classes should be interpreted by the internal model of the system as the rules for classifying data into classes. Further, when classifying new objects, the system determines the position of the object relative to the boundaries of the classes and indicates to which class the object belongs. This example is a practical implementation of a human-centered analytical classification system.

2 Information technology classification based on data visualization

Since the important direction of research is data visualization, it is necessary to use the opportunities and advantages that are available at the present stage of development of machine learning. Data visualization provides the maximum information content for a person when analyzing and presenting hidden structures and grouping data. Training classifiers occurs automatically. Further, the results of training and the work of classifiers are visualized for analysis. Accordingly, if the results do not satisfy the requirements, the adjustment or change of approaches is carried out. In general, the source data can be visualized, analyze the structure and divided into classes. Further, the lines of separation of classes, it is necessary to project into the original hyperspace signs, where they will be presented in the form of separating hyperplanes. Thus, in the space of the original features, classes with the planes bounding them will be formed. This reflects the learning process of the classifier. At the next stage, it is necessary to formulate rules for defining a new object in a hyper volume of a certain class.

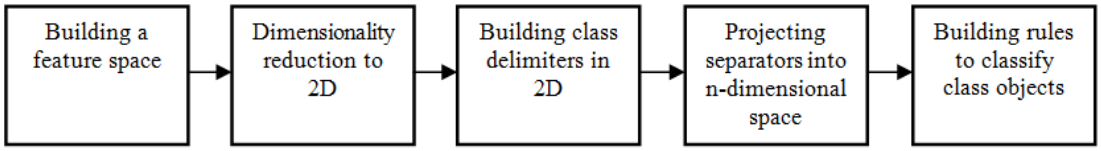


Fig. 2. Sequence of transformations during classifier training

Information technology data classification at the training stage can be represented in this form of successive transformations.

Information technology at the learning stage involves the following steps: a) reducing the n-dimensional feature space of objects into a two-dimensional space; b) construction of class separators in the form of piecewise linear separators; c) projection of separators into the initial n-dimensional feature space and the construction of hyperplanes; d) the use of separators in the form of separating hyperplanes for classification; e) building decision rules for determining whether a new object is located in a hyper volume of a certain class.

In the classifier training scheme, the general approach that underlies the information technology is considered. Let us consider in more detail each stage and analyze and develop methods that allow you to practically implement and use information classification technology.

3 Reducing the dimension of the n-dimensional feature space

A number of methods are used to reduce the number of features: principal component analysis (PCA), multidimensional scaling (MDS), generative topographical mapping (GTM), self-organizing maps (SOM), Stochastic Proximity Embedding (SPE), and others. The methods are based on different approaches based on the purpose and conditions for reducing the dimension. It should also be noted that many such methods have found practical application in special areas, for example, GTM. Depending on the purpose and approaches, the methods differ significantly [26]. As an example, focusing on the vector of features in the original space and constructing a configuration in a space of lower dimension.

One of the ways in which you can get a reduction in the number of signs is data visualization. The multidimensional scaling is based on the proximity of data, which are presented as paired values of the distance differences obtained from the space of dimensionality of features [27,28].

Data separation is an important feature in classification problems. At the same time, it allows reducing noise, redundancy and ambiguity of data. The ultimate goal of visualization is to lower the dimension of the feature space to a space of a lower dimension that can be visually displayed.

Objects that belong to a class have a certain measure of similarity. This measure shows how similar objects are. This can be obtained in various ways, such as, for example, calculating the correlation coefficient or the geometric distance in the vector representation of data. In MDS, each object in a low-dimensional space is represented by a point, and the distance between the points displays the original information about the similarity. That is, the greater the differences between objects, the farther they should be in low-dimensional space. The geometric location of the points allows you to visualize the hidden data

structure. This makes it easier to understand the data structure. Visually definable data clusters, agglomeration and separability of data. It is also possible to visually determine the boundaries of geometric formations based on the tasks of researching data and visualized hidden data structures. Based on this, MDS was chosen for data visualization, as a method that is based on "geometric distance", as a measure of the difference of objects. The visualization of the boundaries of agglomerations also uses geometric constructions based on distances.

Thus, we can visualize the boundaries of the data sets. Information visual data analysis we can display on the data space. Thus, complementing the information content in the direction of the task of analysis.

4 Multidimensional scaling of feature space

The initial data for scaling is a matrix of pairwise distances between objects [29]. The distance between the $_i$ and j object is indicated $\delta_{ij} = d(X_i, X_j)$. Objects are defined by multidimensional points $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{in}\}$, $i = 1..n$. The distance is calculated as follows:

$$d(X_i, X_j) = \left(\sum_{k=1}^{n} (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

It is necessary to minimize the display error. Accordingly, a measure of the quality of the display is determined $_\sigma$ - stress, which can be denoted by the least squares function [26]:

$$\sigma = \sum_{i<j} w_{ij} \left(d(Y_i, Y_j) - \delta_{ij} \right)^2 . \quad (2)$$

To minimize the stress function, an approach is proposed which consists in finding the proximity matrix and iteratively using the SMACOF algorithm [30].

At this stage, the information technology process will consist of the following steps: a) formation of a pairwise distance matrix based on the input data; b) finding the square of the distances of the distance matrix; c) the use of double centering of the matrix; d) determining the eigenvalues and eigenvectors of the matrix; e) optimization of the map by the SMACOF algorithm.

As a result, we obtain a set of objects with a pair of coordinates that can be displayed. For mapping in two-dimensional space, two generalized coordinates are sufficient. Objects are the display of labeled data from multidimensional space. Since the objects are labeled, it is necessary to designate classes on the resulting plane to form a decision tree based on the linear classifier.

5 Formation of a piecewise linear separator and separating hyperplanes

If the discriminant function is linear, then the classifier $d(\bar{x})$ is determined as

$$d(\bar{x}) = \overline{W}^T \bar{x} + w_n , \quad (3)$$

where $\bar{x} = (x_0, x_1, ..., x_{n-1})^T$ is the feature vector defining the image of the object being classified; $W = (w_0, w_1, ..., w_{n-1})^T$ - vector of classifier weight coefficients; w_n - threshold value.

Belonging to one of two classes $\Omega(1), \Omega(2)$ - is determined by the rule

$$d(\bar{x}) = \sum_{i=0}^{n-1} w_i x_i + w_N \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0 \rightarrow \begin{cases} \Omega(1) \\ \Omega(2) \end{cases} \quad (4)$$

The piecewise linear approach to constructing a separation line is the most optimal, since it allows the use of a combination of linear dividers. This allows you to take advantage of linear dividers and create the necessary configuration in the visual space. When using a linear classifier in a multidimensional space, a hyperplane is sought, which will be the dividing criterion for compliance with the class. Next, the vector y_i is searched for a new element represented by a point x_i and for some boundary value b from the condition:

$$y_i = \{+1, wx_i > b; or -1, wx_i < b. \quad (5)$$

Equation (5) with equality to zero describes the hyperplane.

6 Practical use of information technology

The formation of non-linear classification rules is performed by the following sequence of actions: a) the formation of piecewise linear visual restrictions of the class in the reduced space; b) calculation of the reference points-rules for the class; c) transformation of rule points into multidimensional space; d) the construction of hyperplanes in a multidimensional space based on transformed points; e) formation of rules for a class in a multidimensional space based on restrictive hyperplanes.

Piecewise linear restrictive rules define the class areas and allow you to visually determine the need to increase or limit the class area, which is important in the border data. It should be noted that the classification process takes place in accordance with the rules of the decision tree. This process is quite fast and does not require large resources. Ensuring the presence of a visual component in the classification is particularly important in comparison with other approaches, especially in the context of complex boundary conditions of classification. This ensures the availability of additional information component through visual interactive means of determining class constraints. This allows us to provide tools for obtaining additional information by the system and controllability of the classification process. The results of the system are well understood and manageable due to the visual presentation.

The scope of the restriction is provided by the minimum necessary visual boundaries, which, if necessary, can be redefined.

The classification of new data takes place in a multidimensional space based on the calculated data and their corresponding position relative to the limiting hyperplanes. The

spatial position of the new element with respect to all hyperplanes is determined, thus determining its location in categories of classes of bounded volumes.

For classification used text data. The data is based on the corpus as Reuters and is selected specifically to demonstrate the method for well-shared data. Text data has a large set of features [31].

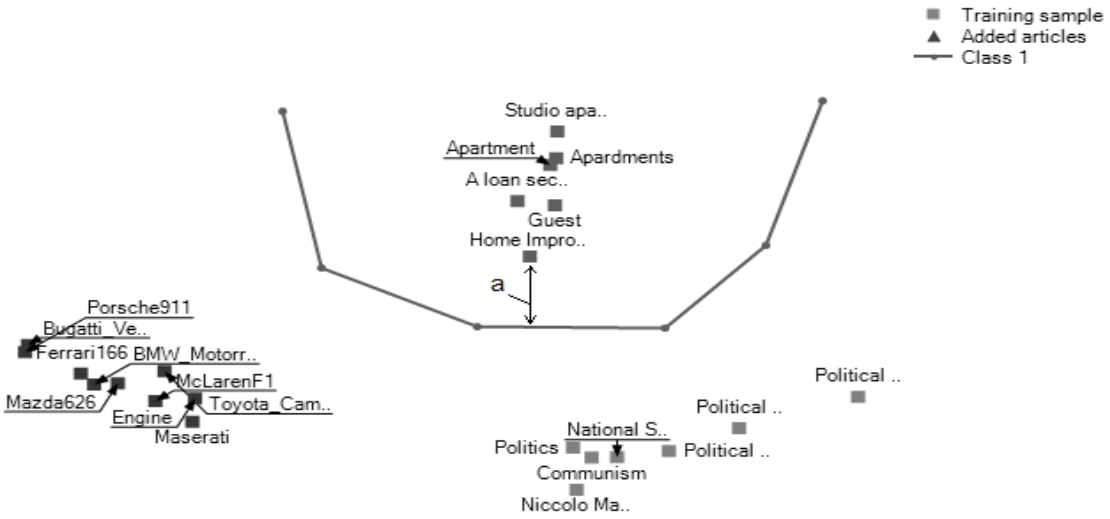
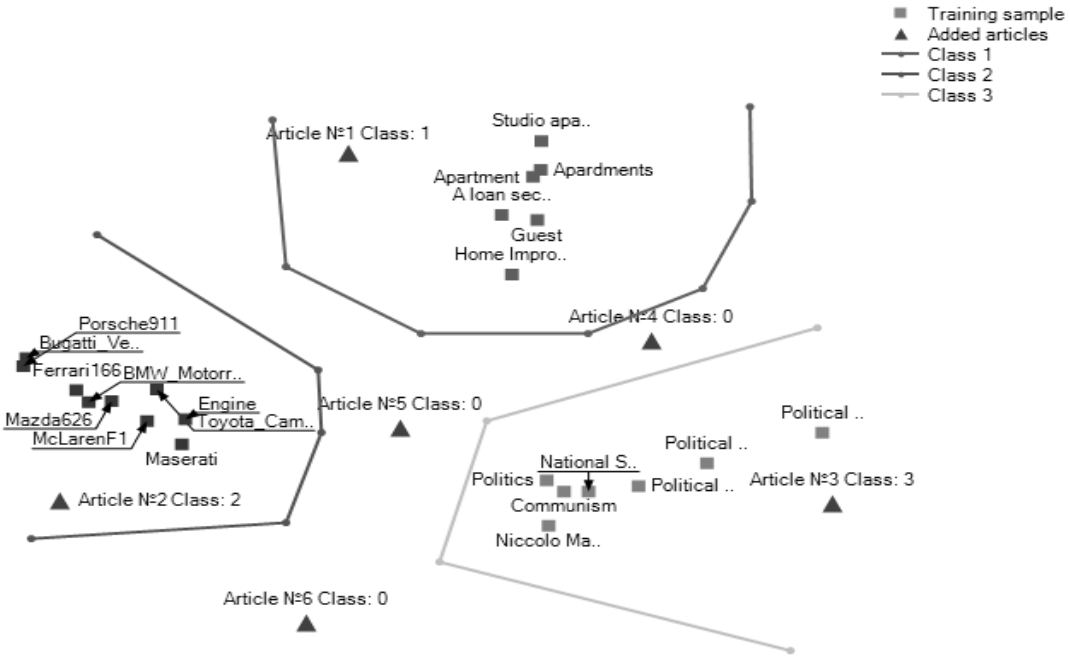


Fig. 3. Construction of the separation line

This is important from the point of view of determining the possibility of representation and minimizing distortion while decreasing the dimension of space. A sample of textual data was formed on the basis of the separation ability and the formation of categories of categories. The distances between the classes are well defined in the projected space. This is a good representation of classes and grouped for generalized features.

Three groups of objects are well grouped and these groups are located rather far in two-dimensional space. We define these groups to represent classes. Next, we graphically define the class grouping boundary. What is important is not only a class restriction, but also the definition of the class boundary fields. Visually, we can determine the parameter and get the minimum distance from the border to the object.

Each class object is characterized by general class rules regarding its boundaries. The number of rules corresponds to the number of segments of the boundary line. In Figure 3 denotes a table of rules of three rows in a cell which contain rules for the relative position of class objects. The coordinates of a point are generalized features in a two-dimensional space. The rules designate the position relative to the class boundaries for defining such decisive designations as “inside” and “outside” of the class. Class boundaries are a contour of piecewise linear segments without discontinuities. The position of the object is determined with respect to each segment of this contour to form a set of rules.



	line_1	line_2	line_3	line_4	line_5	line_6
▶	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	1	-1	-1	-1		
	1	1	-1			

Fig. 4. Object classification and rules related to classes

In the general case, the position of the objects of the class relative to the contour of the bounding class is indicated. Thus, we train the system, denoting class boundaries. A trained system is defined boundaries of the volumes of a hyperspace in which objects of classes with the necessary tolerances of generalization consist. When mapping to two-dimensional space, we determine the position of new objects. The data for testing is located relative to the classes Article No. 1 Class 1, Article No. 2 Class 2, Article No. 3 Class 3. A feature of the proposed technology is the existence of a separation band between the classes.

7 Conclusion

The article presents the result of the development and use of information technology classification for example text. This is done by reducing the feature space by the space of a possible graphical visual presentation. In addition, reducing the dimension allows you to reveal the hidden data structure. Visualization allows for the most informative presentation of data for the analysis of the relationship between the attributes. On the basis of the analysis, the piecewise linear boundaries of the classes are graphically determined with their projection into the initial hyperspace of features. The formation of separation planes in the feature space is the purpose of the classifier training. Visualization also allows you to determine the degree of data classification and generalization of the model.

The main advantage of the method is the minimization of information data loss and the visual management of graphical training of the data classification model. The information technology constructed using the proposed method provides a flexible data classification tool with the ability to specify the class boundaries.

References

1. Yang, Z., Peltonen, J., Kaski, S. Scalable optimization of neighbor embedding for visualization. In Proc. Int. Conf. on Machine Learning, 2013.
2. Dzemyda, G., Kurasova, O., ˇZilinskas, J. Multidimensional data visualization: methods and applications, Springer Optimization and Its Applications, Springer, 2013.
3. Lotif, M.: Visualizing the population of meta-heuristics during the optimization process using self-organizing maps, IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2014. P.313-319.
4. Kryvonos, Iu.G., Krak, Iu.V. Modeling human hand movements, facial expressions, and articulation to synthesize and visualize gesture information. Cybernetics and Systems Analysis. 2011. Vol. 47, N. 4. P. 501-505.
5. Krak, I.V., Kryvonos, I.G., Barmak, O.V., Ternov, A.S. An approach to the determination of efficient features and synthesis of an optimal band-separating classifier of dactyl elements of sign language. Cybernetics and Systems Analysis. 2016. Vol. 52, N. 2. P. 173-180.
6. Krak, I., Kondratiuk, S. Cross-platform software for the development of sign communication system: Dactyl language modelling, Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017, 2017. Vol. 1, pp. 167-170. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098760.
7. Litvinchev, I., Infante, L., Ozuna, L. Approximate packing: integer programming models, valid inequalities and nesting. In: Fasano G., Pinter J.D, (Eds.), Optimized Packings and Their Applications. 2015. Vol. 105, P. 117-135.
8. Torres-Escobar, R., Marmolejo-Saucedo, J.A., Litvinchev, I. Binary monkey algorithm for approximate packing non-congruent circles in a rectangular container. Wireless Netw. 2018. doi:10.1007/s11276-018-1869-y.
9. Kryvonos, I.G., Krak, I.V., Barmak, O.V., Kulias, A.I. Methods to create systems for the analysis and synthesis of communicative information. Cybernetics and Systems Analysis. 2017. Vol. 53, N. 6. P. 847-856.
10. Krak, Iu.V., Barmak, O.V., Romanyshyn, S.O. The method of generalized grammar structures for text to gestures computer-aided translation. Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol 50, N 1. P. 116-123.
11. Joulin, A., Grave, E., Bojanowski, P., Mikolov, T. Bag of tricks for efficient text classification. In Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL), 2017.
12. Manziuk, E. A., Barmak, O.V., Krak, Iu.V., Kasianiuk, V.S. Definition of information core for documents classification. Journal of Automation and Information Sciences. 2018. - Vol. 50, N.4. – P. 25-34.
13. Barmak, O., Krak, Y., Manziuk, E. Characteristics for choice of models in the ansables classification. 2018 CEUR Workshop Proceedings 2139, pp. 171-179

14. Endert, A., Ribarsky, W., Turkay, C., Wong, B. W., Nabney, I., Blanco, I. D., Rossi, F. The state of the art in integrating machine learning into visual analytics. Computer Graphics Forum, 2017. doi:10.1111/cgf.13092

15. Sacha, D., Stoffel, A., Stoffel, F., Kwon Bum Chul, K., Ellis, G., Keim, D. A. Knowledge generation model for visual analytics. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014. - Vol. 20, N. 12. - P. 1604–1613.

16. Andrienko, N., Lammarsch, T., Andrienko, G., Fuchs, G., Keim, D., Miksch, S., Rind, A. Viewing visual analytics as model building. Computer Graphics Forum, 2018. doi: 10.1111/cgf.13324

17. Keim, D., Andrienko, G., Fekete, J.-D., Görg, C., Kohlhammer, J., Melançon, G. Visual analytics: Definition, process, and challenges. In Information Visualization: Human- Centered Issues and Perspectives, Springer, Berlin, 2008. P. 154–175.

18. Keim, D. A., Kohlhammer, J., Ellis, G., Mansmann, F. (Eds.). Mastering The Information Age – Solving Problems with Visual Analytics. Eurographics Association, Goslar, 2010.

19. Von Landesberger, T., Kuijper, A., Schreck, T., Kohlhammer, J.,van Wijk, J.J., Fekete, J.-D., Fellner, D.W. Visual analysis of largegraphs: State-of-the-art and future research challenges. Computer Graphics Forum, 2011. - Vol. 30, N.6. - P 1719-1749.

20. Kucher, K.; Paradis, C.; Kerren, A. The state of the art in sentiment visualization. Computer. Graphics Forum, 2017. - Vol. 37, N. 1. - P. 71-96.

21. Behrisch, M., Blumenschein, M., Kim, N. W., Shao, L., El-Assady, M., Fuchs, J., Seebacher, D., Diehl, A., Brandes, U., Pfister, H., Schreck, T., Weiskopf, D., Keim, D. A. Quality metrics for information visualization. Computer Graphics Forum, 2018. Vol. 37, N. 3 – P. 625–662. doi:10.1111/cgf.13446.

22. Abbas, M. M., Aupetit, M., Sedlmair, M., Bensmail, H. ClustMe. A Visual Quality Measure for Ranking Monochrome Scatterplots based on Cluster Patterns. Computer Graphics Forum, 2019. – Vol. 38, N. 3 - P225–236. doi:10.1111/cgf.13684.

23. Bertini, E., Tatu, A., Keim, D. Quality metrics in high dimensional data visualization: An overview and systematization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2011. – Vol. 17, N. 12. – P. 2203–2212. doi:10.1109/TVCG.2011.229

24. Liu, Z., Stasko, J. T. Mental models, visual reasoning and interaction in information visualization: A top-down perspective. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2010. – Vol. 16, N. 6. – P. 999–1008.

25. Thomas, J., Cook, K. Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics. IEEE, 2005.

26. van der Maaten, L.J.P., Postma, E.O., van den Herik, H.J. Dimensionality reduction: Acomparative review. Technical Report TiCC-TR 2009-005, Tilburg University, 2009.

27. Hout, M.C., Papesh, M.H., Goldinger, S.D. Multidimensional scaling. Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci., 2013 – Vol. 4, N. 1. –P. 93–103. doi:10.1002/wcs.1203

28. Krak, I.V., Kudin, G.I., Kulyas, A.I. Multidimensional Scaling by Means of Pseudo inverse Operations. Cybernetics and Systems Analysis. 2019. Vol. 55, N. 1. P. 22-29. https://doi.org/10.1007/s10559-019-00108-9.

29. de Leeuw, J., Mair, P. Multidimensional scaling using majorization: SMACOF. R. Journal of Statistical Software, 2009. – Vol.31, N.3. – P. 1-30.

30. Guttman, L. A general nonmetric technique for finding the smallest coordinate space for a configuration of points. Psychometrics, 1968.- Vol. 33, N. 4. – P. 469-506.

31. Data text classification [Internet] https://github.com/zamgi/lingvo--classify. (access 10/08/2019)

PARALLEL CLUSTERING USING PARTITIONED GLOBAL ADDRESS SPACE MAPREDUCE MODEL

[1]Shomanov A.S., [2]Mansurova M.E.

e-mail: adai.shomanov@nu.edu.kz, mansurova.madina@gmail.com

[1]Nazarbayev University, Nus-Sultan, Kazakhstan,

[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The paper introduces Mapreduce solution to a parallel clustering problem based on partitioned global address space (PGAS) model. In particular, paper discusses some optimization techniques that can lead to a better resource utilization and faster performance. One of the main issues that arises in parallel clustering is how to efficiently distribute the workload and minimize additional overheads of data exchange. Partitioned global address space model utilizes a one-sided communication pattern which outperforms MPI on the bandwidth limited problems and offers a convenient and transparent memory access model. Partitioning a memory into private and shared allows to create communication patterns among threads that enable flexibility in terms of handling data distribution with locality awareness in mind.*

1 Introduction

Clustering problem can be seen as a non-supervised learning approach to find similarity groups inside a dataset. There exist 4 different categories of algorithms for solving a clustering problem: connectivity, centroid, distribution and density based approaches. One of the most useful and efficient category in terms of parallelizability is a centroid-based. Centroid-based clustering works by smoothly moving cluster centers from some initial position to a position where closeness within a single cluster is minimized. Formally, the centroid-based clustering problem can be defined as minimization problem (see Eq. 1), where the goal lies in finding such an assignment S of points to cluster centers such that this assignment minimizes within-cluster squared differences of data points.

$$arg\min_{S} \sum_{i=1}^{K} \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\| \quad (6)$$

In terms of Mapreduce model, the problem can be decomposed into 2 or more stages [1]. In the first stage called **map** data needs to be divided into several chunks and distributed among participating threads of execution. The result of the map stage is a set of key-value pairs, where key corresponds to some aggregate feature that can be extracted

from the given input. In the second stage called reduce, that follows after the map stage, grouped in an intermediate **shuffle** stage key-value pairs are distributed among parallel threads. These operations of moving and copying the key-value pairs from a memory of a one thread to a memory of another, comes with a set of problems for the runtime environment.

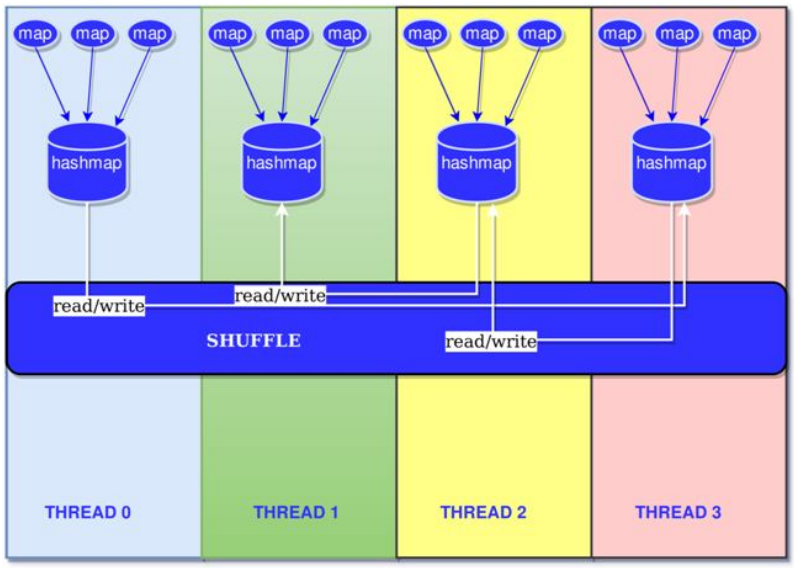


Fig.1 PGAS - based Mapreduce model.

In this work we present a parallel centroid-based clustering algorithm written in a Partitioned Global Address Space based Mapreduce system. PGAS – based Mapreduce system [2] was modified and rewritten to work with arbitrary keys and values. The previous implementation supported only a limited amount of data types. For the underlying mechanism to implement Mapreduce based on partitioned global address space model shared hashmap data structure was selected. Hashmap possesses a number of features that makes it suitable for a Mapreduce system. Operations on hashmap are performed in asymptotic complexity of $O(1)$), which provide fast lookup and insertion operations for the desired key. In our approach, the intermediate key / value pairs stored in a affine hashmap located in a shared portion of thread`s memory (see Fig. 1). Reduce threads are assigned key-value pairs after shuffle collectively gathers and groups keys across hashmap structures.

The operations on shared hashmap can be performed transparently by any thread, however, only a single, so called affine thread, is assigned to store in its local memory underlying key-value pairs associated with data partition assigned to that thread. The cost of local operation by orders of magnitude faster than remote accesses, therefore, it is important to consider optimal thread-to-data mappings. In PGAS – Mapreduce system we proposed a scheduling approach that assigns threads to data according to an optimality criterion that consists of workload and network latency. The given optimization problem solved by means of a genetic algorithm that tries to iteratively improve the scheduling till the process converges to a particular solution.

Due to large heterogeneity of different HPC platforms and parallel systems there has been some efforts to create Mapreduce systems for specific architectures [3,4] or target specific domain areas [5,6,7].

2 Main part

PGAS Mapreduce system relies on efficient execution of bulk and fine-grained memory operations among threads. In this paper we propose a new implementation of shuffle procedure that uses collective operations in order to exchange key-value pairs among threads. The process of collective exchange is similar to how collective gather operation works in MPI environment. Hashmap entries associated with a particular key are grouped together in a orderly way, such that values are copied in a bulk transfers according to a tree-like topology (see Fig. 2). This approach allows reducing by order by magnitude amount of fine-grained memory operations. The second modification to our previous implementation of PGAS Mapreduce is to add support for arbitrary data types for key-value pairs. The implementation is based on using shared void pointers.

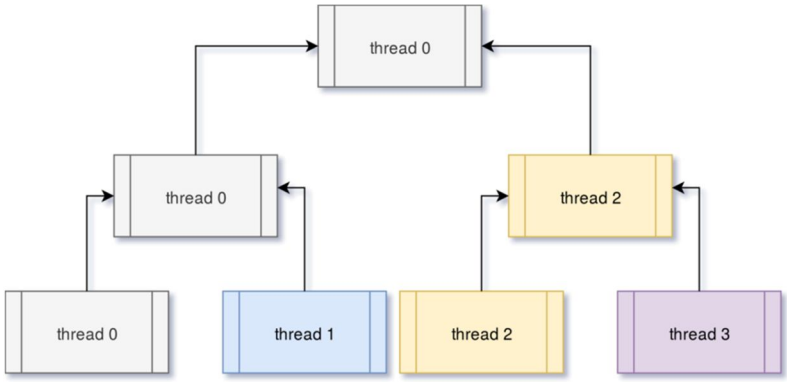


Fig. 2 Collective data exchange for key/values pairs

Mapreduce based parallel clustering algorithm relies on dividing the workload such that map processes are responsible for assigning data points a specific cluster centers by forming corresponding key-value pair of cluster center paired with a data point value (see Fig. 3). Then all data points that were assigned to the same cluster center are grouped together in a shuffle phase. Reduce phase is responsible for modifying cluster centers according to a mean sum of all data points in a cluster (see Fig. 4).

Map processes write generated by **Emit** key-value pairs into a local part of shared hashmap structure. After map processes finish their execution shuffle procedure calls collective merge on all generated keys in order to distribute all values associated with specific keys to their scheduled threads. Reduce processes fetch the data from shared hashmap according to collective exchange algorithm described above.

```
Algorithm: Map
input  : shared void * clusterCenters, string key, void * inputSplit
output: pair(int clusterCenterId,void * pointVal)
void * points = Tokenize (inputSplit);
foreach point ∈ points do
    minDist ← maxDistanceValue;
    for clusterID ← 1 to K do
        dist = findDistance (point,clusterID);
        if dist < minDist then
            minDist ← dist;
            clusterMinIndex ← clusterID;
        Emit (clusterMinIndex,point);
    end
end
```

Fig. 3 Map algorithm for centroid-based Kmeans clustering

3 Results

In this section we present a parallel algorithm for a clustering problem of the collection of documents. The aim is to group similar documents given bag of words description of documents inside a dataset. Dataset has been taken from UCI Machine Learning Repository for the testing purposes [8]. Dataset consists of 300000 documents, 102660 unique words and 69679427 words in total.

```
Algorithm: Reduce
input  : shared void * clusterCenters, int clusterID, void * values
output: pair(int clusterCenterId,void * newClusterCentroid)
foreach point ∈ values do
    average ← average + findMagnitude(point);
end
clusterCenterId = clusterID;
newClusterCentroid ← getAverage(average);
Emit (clusterCenterId,newClusterCentroid);
```

Fig. 4 Reduce algorithm for centroid-based Kmeans clustering

Each document and word is encoded by the unique identifier. The input consists of number of rows that are represented by the following tuples: document id, word id, the frequency of the word. Our first step was to transform above given bag of words representation to a sparse matrix form. For this task we created a separate Mapreduce task. The result of this preprocessing Mapreduce task was a vectorized representation of tuples consisting of document identifier as a key and a list of associated word frequencies. In our experiments we used a virtual machine with 64 vCPUs and 240 GB memory from Google Cloud Platform. Experimental setup consisted of Berkeley UPC runtime version 2.28.0, The Berkeley UPC-to-C translator, version 2.28.0.

Results of the first run were specified as an input to a second Mapreduce task. This Mapreduce task corresponds to a clustering algorithm described in the previous section.

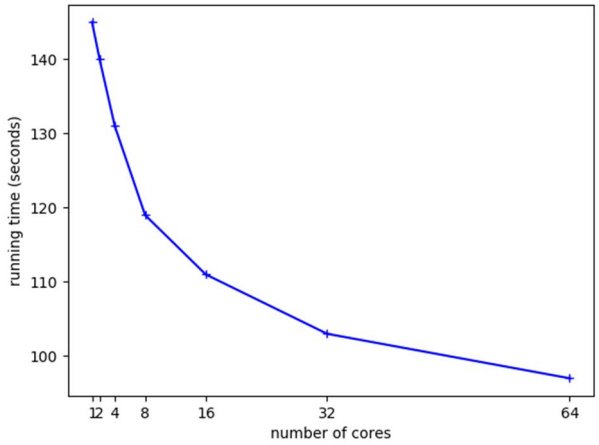


Fig. 5 Scalability of parallel Kmeans algorithm

Presented parallel Mapreduce algorithm shows good scalability which can be seen from Fig. 5.

4 Conclusion

This paper presented Mapreduce solution to a parallel centroid-based clustering problem based on partitioned global address space (PGAS) model. Several optimizations to a previous implementation of Mapreduce system have been introduced: a support for an arbitrary data types for key-value pairs and optimized tree-based collective exchange for a shuffle procedure.

5 Acknowledgement

This work was supported in part under grant of Foundation of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan "System development for knowledge extraction from heterogeneous data sources to improve the quality of decision-making" (2018-2020) under project ID no. AP05132933.

References

1. Jeffrey, D., Ghemawat, S.: MapReduce: simplified data processing on large clusters. In: Proceedings of the 6th conference on Symposium on Operating Systems Design & Implementation, December 2004, vol. 6, pp. 10-10.

2. Shomanov, A., Akhmed-Zaki, D., Mansurova, M.: PGAS Approach to Implement Mapreduce Framework Based on UPC Language. In: Malyshkin V. (eds) Parallel Computing Technologies. PaCT 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10421. Springer, pp. 342-350, Cham (2017)

3. Ranger, C., Raghuraman, R., Penmetsa, A., Bradski, G. & Kozyrakis, C.: Evaluating MapReduce for multi-core and multiprocessor systems. In: *Proceedings - International Symposium on High-Performance Computer Architecture*, 2007, pp. 13.

4. He, B., Fang, W., Luo, Q., Govindaraju, N.K. & Wang, T.: Mars: A MapReduce framework on graphics processors. In: *Parallel Architectures and Compilation Techniques - Conference Proceedings, PACT*, 2008, pp. 260.

5. Engelmann, C. & Böhm, S.: Redundant execution of HPC applications with MR-MPI. In: *Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks, PDCN 2011*, pp. 31.

6. Hoefler, T., Lumsdaine, A. & Dongarra, J. 2009, *Towards efficient mapreduce using MPI*. In: Ropo M., Westerholm J., Dongarra J. (eds) Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5759. Springer, Berlin, Heidelberg

7. Kang, U., Tsourakakis, C.E. & Faloutsos, C.: PEGASUS: A peta-scale graph mining system - Implementation and observations", *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM*, 2009, pp. 229.

8. Dua, D., Graff, C. UCI Machine Learning Repository [http://archive.ics.uci.edu/ml]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2019.

ЖАРЫҚ КӨЗІ

Ауэзова А.М., Алибиева Н.М.
a.auezova@mail.ru, alibieva_n_85@mail.ru
«ҚДСДЖМ» Қазақстандық медицина университеті,
әл – Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Аңдатпа. *Халық санының өсуімен және оның әл-ауқатының жақсаруымен энергия ресурстарына деген қажеттілік өсуде. Ғаламшардың күшеюі - 2 миллиард, жаһандық экономика – 140% - ға, энергияны тұтыну тиімділігі - 45%-ға өсті. "Жасыл экономика" жаһандық қауіптерден Қазақстанның тәуекелдерін төмендетуге көмектеседі. Мысалы, климаттың өзгеруі, пайдалы қазбалардың сарқылуы, су ресурстарының тапшылығы. сонымен қатар, бірқатар сарапшылар мен мемлекеттік қызметкерлердің пікірінше, "жасыл" үлгіге көшу ел үшін қосымша мүмкіндіктер ашады [5].*

Түйін сөздер: *жарық көзі, сәуле шығаратын диодтар (СШД), жасыл экономика.*

Кіріспе

Тұңғыш Президентіміз Нұрсұлтан Әбішұлы Назарбаев мемлекет алдына барлық шаруашылық салаларында энергияны тұтынуды айтарлықтай үнемдеу міндетін қойды. Отандық кәсіпорындар жинақтаған тәжірибеге сүйеніп, қазіргі заманғы технологиялық циклді - дамудан бастап, жаппай өндіруге дейін - жартылай өткізгіш өнімдерді жарықтандыру холдингтің ауқымды міндетін шешу деп түсінеді. Жаңа жартылай өткізгіш жарық көздерін пайдалану – жарықтандыру құрылғылары үшін маңызды энергия, үнемдеуге қол жеткізетін бірден бір жол.

Соңғы он жыл ішінде жарық диодты жарықтандырғыштар қарапайым электронды компоненттерден гөрі маңыздырақ болып тұр.

Жаңа аса жарқын жарық диодтар өзінің сигналдық және индикаторлық функцияларын сақтай отырып, әдеттегі қыздыру және неонды шамдарының орнын баса бастады. Дәстүрлі жарықтандыру құрылғыларының параметрлері жарық диодты жарықтандыру құрылғыларының тиімділігімен салыстырғанда, жарық диодты жарықтандыру құрылғыларының тиімділігі байқалды. Жаһандық жарықтандыру нарығының даму тенденциялары алдағы онжылдықта дәстүрлі жарықтандыруды жаһандық ауқымда жарық диодты толығымен ауыстыруға мүмкіндік береді [1].

Негізгі материалдар

«Ресей технологиясы» деп аталатын мемлекеттік корпорациямен кіріктірілген ААҚ «Ресейлік электроника» - қазіргі таңда жетекші кәсіпорындар мен ғылыми-зерттеу институттары құрайтын ірі индустриалды компания болып табылады [2, 3].

ААҚ «Ресейлік электроника» қазіргі таңда «Холдингтік және басқарушы компания» ретінде ресейлік электроника электронды өнімдерді, электронды материалдарды және оларды өндіруге арналған жабдықтарды, сондай-ақ микротолқынды жабдықтарды, жартылай өткізгіш аспаптар мен материалдарды өндіруге және өндіруге мамандандырылған 80-ге жуық электрониканың әлеуетін біріктіреді. ААҚ «Ресейлік электроника» шетелдік технологиялардан қалыспайтын отандық технологияларға, тіпті кей кезде олардан басып озу мүмкіндігі бар салаларға ерекше көңіл бөліп отыр [2, 3].

Жарықты үнемдеуге бүкіл әлем ат салысып жатыр. Оған дәлел ретінде, «Пульсар» мемлекеттік зауытының директоры, техн.ғылымдарының кандидаты В. Буробин, «Ресейлік электроника» акционерлік қоғамының бас директоры А. Зверев, «Ростехнологии» басқарма бастығы А. Якунин жарияланған мақаласында: «Russian Technologies» мемлекеттік корпорацияларында жарық диодты индустрияны дамыту және энергияны үнемдейтін жарықтандыру жүйесін енгізу бойынша Корпоративтік Жол картасын әзірледі. «Ресейлік Электроника» ААҚ-на мүше болып табылатын кәсіпорындарда жарық диодты өнімдерді толық көлемде өндіруді кеңейту жоспарланып отыр, бұл бес жыл мерзімге ресейлік технологиялар мемлекеттік корпорациясының (бұдан әрі - Корпорация) кәсіпорындарын жарықтандыруға және жарықтандыру үшін тұтынылатын электр энергиясының 70% -на дейін үнемдеуге мүмкіндік береді. Жарық диодты өнімдерді өндіру өздерінің инновациялық зерттеулеріне және кәсіпорындарды дамытуға негізделуі керек. Жарық диодты өнім өндірісін дамыту барысында құқықтық қорғаумен қамтамасыз етілген 80-нен астам жаңа техникалық шешім қолданылады. Корпорация кәсіпорындарында жарықтандыру қондырғыларында және болашақта - ресейлік және шетелдік тұтыну нарықтарына LED-технологияларды өндіру және енгізу бойынша кешенді корпоративтік инвестициялық бағдарламаны іске асырудың негізі - бұл жол картасы. Картада жарық диодқа сұраныстың құрылымы сипатталады, перспективалы нарықтарға нұсқайды және негізгі тұтынушылық қасиеттерін қамтамасыз ете алатын және оларға негізделген өнімдер үшін елеулі бәсекелестік артықшылықтарды қамтамасыз ететін технологиялар мүмкіндіктерін бағалайды. 1-

суретте көрсетілген, Өндірісті тиімді ұйымдастыру үшін инженерлік жобаның құрылымы мен құрамы әзірленді [2, 3].

1 – сурет Жарық диодты және олардың негізінде жарық техникалық аспаптарды әзірлеу

Корпорацияның ұйымдарында жарықдиодты жарықтандыру технологиясын ғылыми-техникалық іске асыру бағдарламасын аяқтау маңыздылығы осында (6-сурет). Жарық диодты технологиялардың базалық орталықтарын дамыту арқылы ауқымды өндірісті құру Корпорацияның ұйымдарына мынадай мүмкіндік береді [2, 3]:

- 5 жыл ішінде электр энергиясына арналған электр энергиясының 70% -на дейін төмендетілу мақсатында өнеркәсіптік кәсіпорындар мен тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықтарын энергия үнемдейтін сәуле шығаратын диодтар (СШД) шамдарын қайта жабдықтау, бұл 54,5 млрд ресей рубль үнемдеуге мүмкіндік береді;
- қуатты құрылғы арқылы 60 млрд ресей рубль үнемдеуге мүмкіндік береді;
- өңірлік кәсіпорындарда жарықтандыру өнімдерінің жаңа номенклатурасын меңгеру;
- кәсіпорындарға жас жоғары білікті мамандарды тарту мақсатында оларды кәсіптік даярлау және қайта даярлауды қамтамасыз ету мақсатында кәсіпорындарда қосымша жұмыс орындарын құру; [2, 3]

Ғ.Ж. Әлсейтов, Ә. Баймақанұлы өздерінің «Жарық диодтары негізіндегі ақ жарық көздері» мақаласында: жарық диодтарынан ақ жарық алудың жолдары мен ерекшеліктері сипатталынады. Екі және үш жарық диоды, бояғыштар мен жартылай өткізгіштік түрлендіргіштер арқылы ақ жарық алудың жолдары қарастырылып, әр әдістің ерекшеліктері мен тәжірбиеде қолданылу мүмкіндерін талқылайды [4].

Қорытынды. LED технологиясының ішкі дамуын әлемдік деңгейге жеткізу. Жарық диодты индустрияны дамыту бүкіл әлем экономикасын жаңғырту үдерісіне

маңызды үлес болып табылады. Бұл сондай-ақ индустрияның және инновациялық индустрияның тиімді жұмыс істеуін ұйымдастыру мен қамтамасыз етудегі алғашқы тәжірибиесі. Сонымен бірге жарық диодына қазіргі нарықта сұраныстың артқанын дәлелдейді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Ковалева Т. Особые условия для развития возобновляемых источников энергии. //KAZENERGY, информационно-аналитический журнал, №1 (74) Астана, 2016. С 66-67.

2. В. Буробин, А. Зверев, А. Якунин «Корпоративная дорожная карта путь крупносерийному производству светодиодов открыт». //Журнал Связь и телекоммуникации. Электроника: Наука, Технология, Бизнес 6/2010. Электронная версия на сайте http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_102_61.pdf

3. Зверев А. Считать исчерпанным потенциал отечественной электроники нет оснований. http://www.russianelectronics.ru / leader / pechat / 46679. Корпоративная дорожная карта развития крупносерийного светодиодного производства и внедрения энергосберегающих систем освещения в организациях ГК «Ростехнологии».

4. Ғ.Ж. Әлсейтов, Ә. Баймақанұлы «Жарық диодтары негізіндегі ақ жарық көздері». // Абай атындағы ҚазҰПУ хабаршы. Алматы, 2(46)/2014. 37-43 б.

5. Ауэзова А.М. Элементы и устройства автоматики. Учебное пособие. Алматы, 2016. 115 с.

BIG DATA ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ПРОГРАММАЛАУ БАЙЛАНЫСЫ

Ахметова М., Сейдахметова Г.Е., Заманова С.К.
maira.banu@mail.ru
Университет «Туран»

Аңдатпа. *Мақалада қазіргі дүниежүзіндегі өзгерістерді цифрлық технологиялар басқарып отырғанда программалаушы мамандығындағы студенттерге «Big data технологиялары» курсын оқыту қажеттігі келтірілген. Big data технологиялары құрамында MapReduce технологиясы мен R программалау тілі бар. Ал бұл технологиялар үшін функционалдық және таңбалық программалаудың теориялық негіздерімен танысу қажеттігі бар екені айтпаса да түсінікті. Мақалада функционалдық программалау тілінің екі түрлі функциясына шолу жасалған. Бұл екі функцияның екеуі де MapReduce технологиясында бар. Ал R программалау тілі өз бастауын Scheme тілі - Lisp программалау тілінің кең тараған диалектісінің бірінен алады. Өмірдің өзі көрсетіп тұрған цифрлық*

технолгиялардың әліппесін бастапқы курстарда «Функционалдық және логикалық программалау парадигмалары» деген сабақтан бастау керек деп білеміз.

Кілттік сөздер. *Big data, NoSQL, MapReduce* технологиясы, *R программалау тілі, функционалдық программалау, программалаудың таңбалық тілдері, Scheme тілі, Lisp тілі*

Қазіргі заманда дүниежүзіндегі өзгерістерді цифрлық технологиялар басқарып отыр десек қателеспейміз. Википедия деректері бойынша деректердің аналогтық қоймаларының (*Analoge storage*) көлемі 1986 жылы 2,6 эксобайт, ал 2007 жылы 19 эксобайт құрса, осы уақыт аралығындағы цифрлық қоймалар (*Digital storage*) көрсеткіштері 0,02 эксобайттан 280 эксобайтқа жеткен. Яғни өсу геометриялық прогрессия түрінде болған. Осындай ғаламат деректерді өңдеуде цифрлық технологиялардың рөлі өте зор. Соның ішіндегі ең қомақтысы деп *Big data* технологиясын атауымызға болады. Big data дегеніміз өз бойына ең қажетті үш әрекетті жинақтаған технологиялар жиынтығы. Ол операцияларға мыналар кіреді: әдеттегі деректерден көлемі өте үлкен мәліметтерді (қазіргі пайымдаулар бойынша ондаған немесе жүздеген теробайттан бастап) өңдеу; үлкен деректер көлемі арту жылдамдығы да тез өсетіндіктен, олармен жұмыс істей білу; құрылымдары түзілген немесе нашар құрылған деректермен әр түрлі жағынан қатар есептеулер мен өңдеулер жүргізу. *Big data* терминінің авторы ретінде, *Nature* журналының редакторы Клиффорд Линчті атап жүр. Ол 2008 жылғы 3 қыркүйектегі мақаласында осы терминді бірінші рет енгізген. *Big data* технологиясының әдебиетте тұрақталған сипаттамасына үш *VVV* жатқызады. Ол *volume* – физикалық көлем шамасы, *velocity* – деректердің өсу және оларды өңдеу жылдамдығы, *variety* – бір мезетте әр түрлі деректерді өңдеу. Қазіргі кезде сипаттамалар үш *VVV* жетіге дейін өсті. Википедия сілтемелері бойынша *veracity* – жарнама деректерінің дұрыстығы *viability* – өмірге икемділігі, *value* – құндылығы, *variability* – өзгергіштігі. *Big data* деректерінің көздеріне ғаламтор мағлұматтары (әлеуметтік желілер, форумдар, блогтар, ақпарат құралдары, сайттар), корпоратив мұрағат құжаттары, әр түрлі құрылғылар мен жабдықтардың көрсеткіштері сияқты мәліметтер кіреді. *Big data* деректерімен жұмыс үш түрлі принципке бағынады. *Көлденең ауқымдылығы (Горизонтальная масштабируемость)* - егер деректер көлемі 2 есе артса кластердегі темір көлемі де 2 есе артады. *Тұрақтылықтан бас тарту (Отказоустойчивость)* – кластерде машиналар өте көп болуы қажет. Мысалы, *Yahoo Hadoop*-кластерінде 42000 артық машина бар. *Big data* деректерінің әдістері темірдің істен шығу мүмкіндіктерін ескеруі керек. *Деректер жергіліктілігі (Локальность данных)* – мүмкіндігінше деректерді сақтаған машинада өңдеуге тырысу. *Big data* өз жұмысында *NoSQL* (*not only SQL, SQL* ғана емес), *MapReduce*, *Hadoop*, *R* (программалау тілі), *Business Intelligence* технологиялары, *SQL* қолдайтын реляциялық ДҚБЖ (Деректер Қорын Басқару Жүйесі) сияқты технологияларды пайдаланады. Осы технологияларға қысқаша тоқталайық. *NoSQL* технологиясы. Бұл технология үлкен іздеу жүйелері (*Google*) сияқты интернет қосымшаларын арналған үлестіруші қатар есептеулер жүргізетін жүйелерді құру қажеттілігінен туындады. Соның нәтижесінде үлестірілген файлдық жүйелер, үлестірілген координация жүйесі, бағандар топтарын сақтау қоймалары (*column family store*), *MapReduce* алгоритміне негізделген орындау ортасы сияқты технологиялар пайда болды. Әдеттегі ДҚБЖ

бағынатын талаптар: *атомарлығы(atomicity*), *келісушілігі*(*consistency*), *бөлектеушілігі* (*isolation*), *сенімділігі* (*durability*), оларды *ACID* талаптары дейді, ал *NoSQL* оның орнына *BASE*: *базалық қол жетімділік* (*basic availability*) - әр сұрату аяқталады (сәтті немесе сәтсіз), *икемді күйі* (*soft state*) – жүйе күйі деректер енгізілмесе де уақыт өткенде өзгереді, *келісімділігі* (*eventual consistency*) – деректер біраз уақыт келіспеушілікте болса да, уақыт өткенде келісімге келеді деп аталатын талаптар қойылады. Бұл талаптардың барлығын қанағаттандыру үшін *NoSQL* технологиясы сақтау қоймаларының әр түрлерін (кілт мәнді, бағандар топтары, құжатталған қор, графқа негізделген қор) қолданады [1]. *MapReduce* технологиясы. Бұл *Google* компаниясы ұсынған компьютерлер кластерлерінде өте үлкен көлемдегі деректерді өңдейтін үлестіруші үлгі. Онда деректерді өңдеу 3 кезеңді қамтиды. *Map кезеңі.* Бұл кезеңде пайдаланушы анықтаған функциясы көмегімен деректер өңделеді. Бір жазбаға қолданылған бұл функция көптеген кілт-мәндер жұптар жиынын береді. Бір кілттегі деректер *reduce* функциясының бір данасына түседі. *Shuffle кезеңі.* Пайдаланушы қалай өткенін білмейді. Бұл кезеңде *map* функция нәтижесі бір кілтке сай келетін «корзиналарға» түседі, ол кейінен *reduce* функциясына ену болып табылады. *Reduce кезеңі.* Алдыңғы кезеңде қалыптасқан әр «корзина» өз мәндерімен *reduce* функциясына келіп түседі. Бұл функцияны пайдаланушы анықтайтындықтан, оның қайтаратын мәндер жиыны *MapReduce*-есебінің нәтижесі болып табылады [2]. *R программалау тілі.* 1993 жылы *Robert Gentleman және Ross Ihaka* (Оклендский университеті, Жаңа Зеландия) деген зерттеушілер *S* тілінің жаңа түрін құрды. Оның *S-PLUS* тілінен біраз айырмашылығы бар, оның ауқымды және жергіліктін айнымалыларына қатынауы, жадымен жұмыс істеу ерекшеліктері болды. Тілдің бұл айырмашылықтары, Scheme - функционалдық программалау тілінің әсеріне байланысты дамыды. Scheme тілі - Lisp (Common Lisp, CL) тілінің кең тараған диалектісінің бірі. Қазіргі кезде *R* программалау тілі өз құрамына көптеген пакеттерді қоса отырып даму үстінде. *R-пакет* дегеніміз *C* немесе *Fortran* тіліндегі құжаттар мен элементтері динамикалық түрде жүктелетін мәліметтер жиыны. Қазіргі деректер бойынша *R-пакет* саны мөлшермен 4300+. Бір кемшілігі жылдамдығының баяулығы. Ол үшін сіздің компьютер ойындарға емес, жұмыс істеуге арналған болуы қажет. Жақсы жақтары: тегін, үлкен кітапханасы бар. Тегін софт сенімді де болады, оның мысалдары: *Fortran, Linux, C, Lisp, Java* [3].

Біздің мақсатымыз *Big data* технологиясының құрамына кіретін әр түрлері мен функционалдық программалау байланысын зерттеу болғандықтан, енді программалау парадигмаларына қатысты өз пікірімізді білдірейік. Жалпы жағдайда зат немесе үдеріс туралы ондағы бар ақпарат өзінің сипаттамасы арқылы мағлұмат береді. Ақпарат мәліметі бейне, сөз, үн, түс, таңба арқылы берілуі мүмкін. Мысалы бейне ұғымы сурет, сызба, көрініс сияқты болады. Сөзбен берілген ақпарат сипаттамысын зерттеу үшін оның семантикасын, яғни мағыналық мәнін білу қажет. Тіл білімінің өзінде сема күрделі мәселеге жатады. Ал үнмен берілетін ақпарат мағлұматы қай тілде болса да белгілі бір тербеліс заңына бағынады. Ақпараттың түс арқылы берілетін мәліметінде де әр түрлі толқындар тербелістерінің қасиеттері бар. Адамнан адамға берілетін ақпарат жоғарыда аталған барлық сипаттамаларын қамтиды. Ал компьютерге салынатын ақпарат жауабына толқындарының «Иә», «Жоқ» деген түрлері салынып, солардың белгілі бір араласқан тербелістерін

құрайды. Жоғарыда аталған ақпарат сипаттамаларының арасындағы компьютермен жұмыс істеуге ең ыңғайлысы таңбалар. Таңбалармен суреттерді, сандарды, сөз таңбаларын, түстің толқындар арқылы сипаттамаларын да беруге болады. Сондықтан адамзат баласы көне заманнан бері таңбалармен өз ойларын бейнелеп, оларды тасқа қашап жазып отырған. Деректермен жұмыс істейтін алгоритмдерін компьютер миына салуда көптеген құралдар пайдаланылады. Ол машина-бағытталған тілдер (*Assembler*), процедуралық тілдер (*Pascal*), нысанды бағытталған тілдер (*C*), таңбалық тілдер (*Пролог, Лисп*). Осы құралдардың ішінде біздің тоқталып өтетіндеріміз таңбалық тілдер. Компьютермен тілдесетін программалау тілдерінде білімдер көбінде нұсқаулар тізімі-командалар сияқты сөйлем тізбектерінен тұрады. Қазіргі кеңінен қолданылып жүрген программалау стильдері осы тәсілді қолданады. Ал таңбалық тілдерінің негізі болатын логикалық және функционалдық стильдер мәселе сипатын баяндау тәсілімен береді. Бұл тілдерге қойылатын талаптарға мыналарды жатқызамыз: тілдер құрылымы компьютерлік архитектураның төменгі деңгейімен, операциялық жүйелер және аппараттық құралдар архитектурасы деңгейімен, жады көлемі, процессор жеделдігімен шектеулі болуы қажет. Функционалдық программалау әдеттегі программалаудағы болатын белгілі бір концептуалды шектеулерді алып тастау ерекшелігіне ие. Жалпы функционалдық программаның өзі функциядан тұрады. Программа өзіне қажетті бастапқы деректерді функцияның аргументі есебінде қабылдап, нәтижені функция нәтижесі есебінде береді. Әдетте негізгі функция басқа функциялар төңірегінде бейнеленіп, одан ары қарай тағы да басқа функция аумағында анықталып, осылайша жалғаса береді. Ең соңындағы функция ең төменгі деңгейдегі тіл бірлігіне ие. Функционалдық программалауда меншіктеу операторы жоқ және айнымалылар бір рет мән қабылдаған соң өзгермейді. Функцияға қатынауда тек нәтиже ғана аламыз. Программалаушы адам басқару ағынын сипаттау қиындығынан құтқарылады. Берілетін өрнектер кез-келген уақытта есептеле алатындықтан, айнымалыларды олардың мәнімен алмастыруға және керісінше амалды да орындауға мүмкіндік бар. Программа сілтемелерінің мұндай анық әрі «мөлдір» болуы функционалдық программаларға математикалық өңдеуді қолдану мүмкіншілігін береді [4].

Жоғарыда келтірілген функцияларды алу мүмкіндіктерінің барлығы функционалдық тілдер көмегімен іске асады. Өйткені онда басқа программалау тілдерінде болмайтын қасиет бар. Оған кез-келген функцияны белгілі бір бөлшектерге бөліп қарауға да, біріктіріп қарауға да болатын мүмкіндікті жатқызамыз. Мұндай жоғары деңгейдегі функциялар көптеген операцияларды программалауға мүмкіндік береді. Әр кезде деректердің жаңа типі анықталған сайын оны өңдейтін жоғары деңгейлі функциялар жазылады. Бұл деректер типімен жұмыс істеуге ыңғайлы және осыған қатысты білімдерді бір жерде жинақтап ұстауға қажет. Функционалдық программалау жолдарын үйренуді оның негізгі құралының бірі LISP тілінде программалаудан бастаған жөн. 1960 жылы математикадағы көптеген зерттеулер негізінде Джон Маккарти (LISP) деп аталатын программалау тілін құрды. Бұл тілі көптеген жылдар бойы да, қазір де, функционалдық стильде программалаудың құралы есебінде жүріп отыр. Бұл тілде қолданылатын көптеген идеялар функционалдық программалаудың негіздерін құрды деуге болады [5].

Жоғарыда келтірілген *Big data* технологиясының құрамына кіретін әр түрлердің ішіндегі функционалдық программалауға қатысты *MapReduce*

технологиясы мен *R программалау тілін* ерекше атап айтуымызға болады. Бірінші технологиядағы көрсетілген функциялар Lisp тілінде бар. Ол *Map* функциясы. Оны Lisp тілінде тізбектер элементтеріне қайталауды орындау сияқты қызметті атқаратынын айта кетейік. Ал *Reduce* функциясы функцияны каскадты түрде қолдану дегенді білдіріп, функционалдық программалаудың ең ғажап функцияларының біріне жатады. Бір мысал қарастырайық. Функционалдық программалауда модульдерді біріктіретін *екі түрлі* өте маңызды *элемент* бар екенін айтып өтуіміз қажет. Бұл элементтер функционалдық программалау қуатын арттырып қана қоймай, көлемі аз, қарпайым модульдерді құруға мүмкіндік береді [6].

Біріктірудің бірінші түріне: *«Функцияларды байлау, біріктіру»* деп аталатын тәсіл жатады. Оған қарапайым функцияларды одан гөрі күрделі түріне байлауды жатады. Мысал қарастырайық. Тізімдерді өңдеу, олардың элементтерін қосу. Біз тізімдерді былайша анықтаймыз: data [x] = [] | x : [x] Бұл мынаны білдіреді: икстер тізімі не бос тізім [], не басқа *x* тер тізімдердің конструкциясы. Берілген x:xs тізім болып табылады, оның бірінші элементі - *x*, ал келесілері - xs тізімінің элементтері. Бұндағы **x** элементі кез келген типте болуы мүмкін, мысалы *x* «бүтін сан» болса, онда берілген анықтама бойынша бүтін сандар тізімі не бос тізім, не бүтін сандардан құралатын басқа бүтін сандар тізімінен тұрады. Тізімдерді олардың элементтерін тік жақша ішінде жазу арқылы береміз. Мысалы [1] мынаны білдіреді 1:[]. Ал [1,2,3] деген 1:2:3:[] білдіреді. Тізім элементтерінің қосындысын sum рекурсивті функциясы көмегімен алуға болады. Ол екі түрлі параметр үшін анықталады: бос тізім және конструктор үшін. Бос жиындар қосындысы нөлге тең болатындықтан, біз мынаны анықтаймыз: sum [] = 0 Қосынды тізімнің бірінші элементін басқа элементтердің қосындысына қосу арқылы анықтаймыз: sum num:list = num + sum list. Бұл жерде («0» және **«+»)** қосындыны анықтайтын элементтерге жатады. Ол дегеніміз қосындыны есептеу модулінде «бөлінген бөліктер» мен «рекурсивтік түр» бар деген сөз. Ол әдетте орау (reduce), («свертка») деп аталады да, былайша өрнектеледі: sum = reduce (+) 0. Орауды sum функциясын параметрлеу арқылы алуға болады: reduce f x [] = x reduce f x (a:l) = f a (reduce f x) l Одан соң біз (reduce f x) тізбекшесін бөліп аламыз. Оны ол *sum* функциясын ауыстыра ала ма сол үшін орындаймыз. Осы үш аргументтік (reduce f x) типіндегі функция екі аргументке қолданылса, онда ол *l* параметрлі функция болып табылады. Жалпы жағдайда *n* параметрлі функция *m (m < n)* параметріне қолданылса, онда ол қалған *n–m* аргументтерінің функциясы болып табылады. Осылайша модулденген *sum* функциясын біз бірнеше рет пайдалана аламыз. Бұндағы *reduce* функциясы ең ғажап функцияларға жатады. Оны тізім элементтерін көбейтуге де пайдалана аламыз.

Сонымен біз функционалдық программалау тілінің екі түрлі функциясына қысқаша шолу жасадық. Бұл екі функцияның екеуі де *Big data* технологиясының құрамына кіретін *MapReduce* технологияда бар. Ал *R программалау* тілі өз бастауын Scheme тілі - Lisp (Common Lisp, CL) тілінің кең тараған диалектісінің бірінен алады. Қазіргі дүниежүзіндегі өзгерістерді цифрлық технологиялар басқарып отырғанда программалаушы мамандығында оқитын студенттерге «*Big data* технологиялары» курсын оқыту өмірдің өзі ұсынып отырған талап. Ал осы курсқа кіретін технологиялар үшін функционалдық программалаудың теориялық негіздерімен

танысу қажеттігі бар екені айтпаса да түсінікті. Сондықтан өмірдің өзі көрсетіп тұрған цифрлық технолгиялардың әліппесін бастапқы курстарда «*Функционалдық және логикалық программалау парадигмалары*» деген сабақтан бастау жөн деп білеміз.

Пайдаланған әдебиеттер

1. Wikipedia.org/wiki/Большие данные
2. https://ru.wikipedia.org
3. Letopisi.ru letopisi.org/index.php/R
4. Сергиевский Г.М. Функциональное и Логическое программирование. – М.: Изд.Центр «Академия», 2010. – 320с.
5. Хъювенен Э., Сеппянен Й. Мир Лиспа В 2-х т. Т.1: Введение в язык Лисп и функциональное программирование. Пер. С финск. – М.:Мир, 1990. – 447 с.
6. Ахметова М. Функционалдық-логикалық программалау және жасанды зерде жүйелері: Оқу құралы – «Бастау» баспасы, 2012. - 330 бет.

ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ (BIG DATA) ЗЕРТТЕУДІҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ

Бисаринов[1,a] Б.Ж., Бисаринова[2,b] А.Т.
[a]bbaituma@gmail.com, [b] aigulbis@mail.ru
[1] аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университет, Алматы қаласы, Қазақстан,
[2] «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ, Алматы қаласы, Қазақстан

Андатпа. *Танымалы халықаралық деректер корпорациясың мәліметтеріне сүйенетін болсақ, үлкен деректерді өңдеу және бизнес сараптау нарығы жылдан жылға қарыштап өсетіні болжануда. Тұтынушылар туралы деректерді талдайтын және олардың іс-әрекеттерін болжайтын, нейрон жүйелеріне негізделген жасанды интеллекті және машиналық оқытуды қолданатын Big Data сараптамалық платформаларына деген сұраныс артуда. Сонымен қатар, нарыққа Интернет заттар (ИЗ) туралы тұжырымдама да әсер етеді.*

2016 жылды қарастыратын болсақ, жаһандық инвестициялардың ең үлкен көлемі индустрияға өндіріс, жүк тасымалдау, энергетикалық жүйелер және тұтыну сегменті бойынша жіберілді. Ал болашақта, сақтандыру, тұтыну, денсаулық сақтау және бөлшек сауда саласында Интернеттегі ең жылдам өсім күтілуде. Үлкен деректер талдауы бүгінгі күні барлық салаларда басты назарда. Кәсіпорын «Үлкен деректер» талдамасын пайдаланбаса, өз бизнестерінде үлкен деректерге қарсы бәсекелестерге қарсы тұра алмайды. Үлкен деректер талдауы бизнестің алдын-ала деректер мен үрдістер туралы іскерлік түсініктерді анықтап, өз салаларында бәсекелестік артықшылығын жасауға мүмкіндік береді. Мақалада Big Data талдаулар саласында жасалынған заманауи жұмыстарын

қарастыру және Big Data мен Smart Computing-нің ғылыми-зерттеу салалары қарастырылады. Бүгінгі таңда аталмыш зерттеу саласына компьютерлік ғылымдар мен ақпараттық технология қызғушылық танытуда. Аталмыш сала әлеуметтік ғылымдар және басқада пәндерде кеңінен сұраныста және ұжымдық кластерлік талдауды да кеңінен қолдану өзекті болып отыр.

Түйін сөздер: *Үлкен деректер (Big Data), Big Data Analytics (BDA), Data Science, интернет заттары (IoT), Hadoop, SAP HANA.*

Деректер ғылымы (Data Science), деректерді сұрыптау, пайдалану, өңдеу және талдаумен байланысты ғылыми саланы қамтиды. Деректер ілімі - көптеген ғылыми әдістер қолданылатын кең мағыналы, алыстан бастау алып, тереңді қозғайтын термин. Математика, статистика және басқа көптеген сала ғылымдары осы деректер жиындарына сүйеніп жұмыс жасайды және оның нәтижелерін кеңінен қолданылады. Зерттеуші ғалым мәліметтерді жалпы деректерден алу үшін түрлі құралдарды қолданады. «Үлкен деректер (Big Data)» термині салыстырмалы түрде жаңа болып табылады. 2000-жылдардың басында осы саланың талдаушысы Даг Лейн үлкен деректердің қазіргі кездегі негізгі анықтамасын үш -Vs (көлемі, жылдамдық, әртүрлілік) ретінде белгілеген кезде ерекше серпіліс алғаны бәрәмізгеде мәлім. Сарапшылардың көпшілігі үш өлшемді деңгейді пайдаланады[1]. Деректеріңіздің дерекқорларында келесі сипаттамалар бар: *Көлемі*: Үлкен деректер - бұл деректер жинағы немесе оны өңдеуге қатысты қиындықтарға тап болатын ұйымның үлкен деректер жиынтығы. Іс жүзінде электронды коммерция, ұтқырлық, әлеуметтік медиа және Интернет заттар (ИЗ) сияқты трендтер соншалықты көп ақпарат жасайды, сол себепті әрбір ұйым осы өлшемге сай келеді. *Жылдамдық:* Ұйым жылдам деректермен жаңа деректер жасаса және нақты уақытта жауап беруі қажет болса, үлкен деректерге байланысты жылдамдыққа ие болады. Электрондық коммерция, әлеуметтік медиа немесе ИЗ-ға қатысатын көптеген ұйымдар осы өлшемді үлкен деректерге сай қолданады. *Әртүрлілік:* Егер сіздің деректеріңіз әртүрлі форматтарда болса, үлкен деректермен байланысты әртүрлілік бар [2].

Үлкен деректердің жапы сипаттамасы

Жалпы жағдайда соңғы кездері үлкен деректер - Big Data үшін қызығушылық тудыратын тақырыптар, салалар төмендегілерді қамтиды:

Үлкен деректерге арналған техника, модельдер және алгоритмдер,үлкен деректер үшін машиналық оқыту және жасанды зияткерлік, Веб-іздеу және ақпаратты іздеу, есептеу үшін модельдер мен құралдар, үлкен деректерге арналған бұлттық және тораптық есептеулер, үлкен деректерге арналған қауіпсіздік және құпиялық, смарт құрылғылар мен жабдықтар, үлкен деректер қосымшалары: биоинформатика, мультимедиа, смартфондар және т.б.

Үлкен деректерге арналған құралдар мен жүйелер. Деректерді өндіру, графиканы өңдеу және деректер ғылымы. Интеграция және интеллектуалды есептеулер үшін платформа.Үлкен деректерді талдау және әлеуметтік медиа.

Үлкен деректерге арналған жабдық. Бағдарламалық қамтама инфрақұрылымы. Ұялы байланыс және желілер.

Big Data технологиялары

BigData жинау және өңдеу үшін пайдаланылатын технологиялар 3 топқа бөлінеді: бБағдарламалық қамтамасыз ету, жабдық, қызмет көрсету. Ең көп тараған деректерді өңдеу (бағдарламалық қамтама) тәсілдері мыналарды қамтиды: SQL, дерекқорлармен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін құрылымдық сұраныс тілі. SQL қолдану арқылы деректерді жасауға және өзгертуге болады және деректер жиынтығын басқарылуы тиісті дерекқорды басқару жүйесі арқылы өңделеді. NoSQL - бұл термин тек SQL емес (SQL ғана емес). Ол дерекқорды басқару жүйелерінде пайдаланылатын модельдерден өзгеше дерекқорды енгізуге бағытталған бірқатар тәсілдерді қамтиды. Сонымен қатар үнемі өзгеретін деректер құрылымымен пайдалануға ыңғайлы. Мысалы, әлеуметтік желілерде ақпаратты жинау және сақтау. MapReduce - есептеуіш үлгілеу моделі. Үлкен деректер жинақтары (petabytes * және басқалары) бойынша параллель есептеулер үшін қолданылады. Бағдарлама интерфейсінде деректер өңдеуге арналған бағдарламаға берілмейді, бірақ бағдарлама деректерге ауысады. Сұраныс жеке бағдарлама болып табылады. Жұмыс принципі деректерді жүйелі түрде өңдеудің екі әдісімен және картаны қысқартудан тұрады. Карта алдын ала деректерді таңдайды. Hadoop - жоғары жүктелетін сайттардың - Facebook, eBay, Amazon және т.б. іздеу және контекстік тетіктерін іске асыру үшін пайдаланылады. Айырықша ерекшелігі, бұл жүйе кластердің кез келген түйінінің сәтсіздігінен қорғалған, себебі әрбір блок басқа түйінде деректердің кемінде бір данасы болып табылады. SAP HANA - жоғары сапалы деректерді сақтау және өңдеу NewSQL платформасы. Жоғары жылдамдықты сұрауды өңдеуді қамтамасыз етеді. Тағы бір айырмашылығы - SAP HANA жүйелік ландшафты жеңілдетеді, бұл аналитикалық жүйелерді қолдау құнын төмендетеді.

1-ші сурет. Әртүрлі салалардың үлкен деректерді талдау нарығына әсері

Үлкен деректерді талдау үлкен, күрделі және алдын-ала өңдеу жасалмаған деректер жиынтығын, бағалы мәліметтерді анықтауға, трендтерді дәл анықтауға, өндірістік көрсеткіштерді болжауға және шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік

береді. Өндірістік сегментте және басқа да өнеркәсіп секторларында сарапшылар BDA-ға сұраныстың артуын атап өтті, яғни үлкен деректерді талдауға салынған инвестицияның өсуі кәсіпорынның өнімділігін арттыру және ресурстарды оңтайландыру қажеттілігіне байланысты болып отыр. Бөлшек сауда, денсаулық сақтау, банкинг және қаржы сегменттерінде соңғы бірнеше жылда BDA қолданылуда. Жақын арада жеке қызметтерді дамыту кеңінен қолданылатын болады. Қоршаған ортаны қорғау саласындағы үлкен деректер сараптамасына сұраныс жоғары болады, әсіресе Азия-Тынық мұхиты аймағындағы дамушы елдерде.

Frost & Sullivan өкілдерінің айтуынша, BDA-ның қолданылуы клиенттердің қажеттіліктерін терең түсінуге мүмкіндік береді, бұл әсіресе ақылды банкинг үшін өте маңызды. Қаржылық сегментте үлкен деректерді талдау қызметтерін жекелендіру, ақпараттың бұрмалануын алдын алу, алаяқтықты анықтау және т.б. үшін пайдаланылады. Қаржыны қадағалау үшін ақшаны аударуға байланысты алаяқтық әрекеттердің алдын алуға болады.

2-ші сурет. Үлкен деректер нарығының өсуінің болжамдары

Үлкен деректер сараптамасы жеке компаниялар мен үкіметтік ұйымдармен экологиялық тәуекелдерді бағалауға, ресурстарды пайдалануды оңтайландыруға және қоршаған ортаны қорғау ережелеріне сәйкестікті қамтамасыз етуді қарастырады. Global Forest Watch 2.0 - Дүниежүзілік Ресурстық Институтының Google Inc. компаниясымен бірлесіп іске асырған ормандарды қорғау жобаларының бірі болып табылады. Жобаның басталуынан және BDA шешімдерін енгізуден бастап, 2004 жылмен салыстырғанда, 2013 жылы Amazon-ның ормансыздандыру көрсеткіші 80% -ға азайды [3].

Үлкен деректердің кереметі және нақты қауіптері

Үлкен әлеуметтік деректер деп аталатын сала бойынша көптеген зерттеулер жасалынуда. Салада төрт әлеуметтік маңызды бағыттар бар (әлеуметтік есептеу), үлкен деректер ғылымы (Big Data Science), деректерді талдауға және есептеудің әлеуметтік ғылымдарына (CSS) төрт маңызды қосалқы салалары бар. Күнделікті өмірде ағылшын тілінде BDS - Big Data Science немесе SBD, әлеуметтік үлкен деректердің ғылымы (Social Big Data) қысқарған түрдегі терминдері қолданылады. Дегенмен, «үлкен деректер» (BD) тұжырымдамасы BDS / SBD тұжырымдамасынан кеңірек. Әлеуметтік деректерді өңдеуге байланысты әртүрлі ресурстардың пайдаланушылары өздерінің деректерін пайдаланудың қайда және қалай сақталатындығына, кімге және қалай қол жеткізуге болатынына, қанша уақыт сақталатынына байланысты орынды алаңдаушылық бар. Белгілі бір технологияларды қолдану туралы мәселе олардың қолданылу мақсаттарына және тұтынушыларға қатысты. Мұнда сіз ядролық дамудың ұқсастығын жасай аласыз: атомды бейбіт мақсаттарда - ядролық энергетика үшін пайдалана аласыз және сіз атом бомбасын жасай аласыз. Сол сияқты үлкен деректерге арналған өңдеу және аналитика технологиялары қалыпты жағдайлар мен көлік апаттарының алдын алуға, жабдықтардың бұзылуын азайтуға, клиенттердің артықшылықтарын анықтауға, медициналық қызметтерге қажеттілікті анықтауға және т.б. қолданылуы мүмкін. Және сол технологиялар адамдарға кейбір мақсаттар үшін сүзгілеуге мүмкіндік береді. Мысалы, жұмысқа орналасу. Сондай-ақ, нақты қауіп-қатерлерге азаматтардың мүдделеріне нұқсан келтіретін (қарыз алушының рейтингісі және т.б.) коммерциялық пайдалану үшін үлкен деректерді пайдалану жатады. Жылдам қарқынмен дамып келе жатқан және болашақта инвестицияның басты нысандарының бірі болудың кез-келген мүмкіндіктері - Интернеттегі зат бар екенін тағы еске ала отыруымыз керек.

Үлкен деректер (Big Data) технологиясын қолдану аясы

Бөлшек сауданың және қызмет көрсету секторының ірі және орта компанияларының Big Data технологиясын пайдалануына қызығушылығы байқалады. Бұл технологиялар банктер, ұялы байланыс операторлары белсенді пайдаланады. Бұдан басқа, ірі өндірістік компаниялардың жабдықты бұзу туралы деректерді талдау және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Ұшуды басқару саласында деректер массивтерін талдау жабдықтың сенімділігін арттырады және сәтсіздік санын азайтады. Бірақ Big Data ауқымы әлдеқайда кең. Компания туралы әртүрлі ақпаратты кеңінен жариялау туралы. Тапсырылған мәліметтерді талдау, объектілердің физикалық сипаттамалары, жедел деректер, қаржылық деректер, материалдық ресурстар, заңды деректер. Ақпарат көздері: файлдық кестелер, дәстүрлі дерекқорларды басқару жүйесі (ДҚБЖ), бухгалтерлік жүйелер болуы мүмкін. Тексерілмеген деректерді талдау қажет: клиенттердің шолуы, тексеру нәтижелері, апаттар, қызмет көрсету туралы өтініш, бәсекелестік орта, ақпараттық технология (АТ) инфрақұрылымы. Бұл жерде ақпарат көздері: кестелер, диаграммалар, әлеуметтік желілер, сараптамалық бағалау және т.б. болуы мүмкін. Мұндай деректерді талдау нәтижесі объектінің паспорты, оның ішінде орналасқан жері, ауданы, қабаттар саны, рұқсаттар, түгендеу деректері, бәсекелестік орта, тарихи қаржылық деректер, маусымдық сатылым факторы және т.б. Бірақ, белгілі

болғандай, компанияның құны оның материалдық құнының қарапайым сомасына тең емес. Big Data технологиясы туралы ақпаратты жинау және талдау материалдық емес активтердің құнын бағалауға мүмкіндік береді. Оларға мыналар жатады: еңбек ресурстары, білім мен дағдылар; ақпараттық ресурстар, дерекқорлар, ұйымдық-басқару құрылымы, таланттар, қызметкерлердің потенциалы, бренд, беделі, даму, клиент базасы, контрагенттермен қарым-қатынас. Үлкен деректер мен цифрлық экономика шешілетін мәселелер. Қазақстан Республикасында «Сандық Қазақстан-2020» мемлекеттік бағдарламасын іске қосу мәселесі маңызды болып табылады, сол себепті экономикалық жүйені цифрлық түрге айналдыру ең алдымен үлкен деректерді тиімді басқарумен байланысты [4].

Қорытынды. Адамзаттың жаһандық жылынуына әсер етуі әлі күнге дейін көптеген қарама-қайшылықты пікірлер туғызып келеді, сондықтан да бұл сауалға деректердің үлкен көлемін талдауға негізделген сенімді болжау модельдері нақты жауап бере алады[5]. Жаһан бойынша шығарындыларды азайту бәрімізге көмектеседі және оның тағы бір көрінісі біз энергияны да аз жұмсайтын боламыз.

BigData бізді өндірістік жоспарлау, білім беру, денсаулық сақтау және басқа салалардағы жаңа көкжиектерді ашады. Егер олардың дамуы тоқтаусыз жалғаса берсе, BigData технологиялары өндіріс факторы ретінде ақпараттың сапасын мүлдем жаңа деңгейге шығара алады. Ақпарат еңбек пен капиталға теңестіріліп қана қоймай, қазіргі заманғы экономиканың ең маңызды ресурсы бола алады.

ӘДЕБИЕТ

1. https://www.datamation.com/big-data/big-data-challenges.html
2. https://www.eg-online.ru/article/372363/
3. http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_(Big_Data)_мировой_рынок
4. https://www.inform.kz/kz/2017-zhyldan-sandyk-kazakstan-2020-bagdarlamasy-iske-kosylmak_a2912600
5. B. Bissarinov, R. Mussabayev, A. Bissarinova.Collective method in solving the Big Data clustering problems. // The 16th International Scientific Conference Information Technologies and Management 2018 April 26-27, 2018, ISMA University, Riga, Latvia, p.75-76, ISSN 1691-2489.

ПРОГРАММАЛАУҒА ҮЙРЕТУШІ МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАНЫ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҚҰРУ

Ерекешева М., Бедер А.
e_meruert@mail.ru
Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті

Аннотация

Заманауи студенттердің көпшілігі оқу үрдісіне мобильді технологияларды қолдануға дайын және мобильді құрылғылар мен технологиялардың әлеуетін барынша тиімді пайдалану үшін жаңа мүмкіндіктерді қарастыру қажеттілігін түсінеді. Бұл міндетті шешуде жоғары оқу орындарының оқу үрдісіне мобильдік оқыту стратегиясын, нысандары мен әдістерін енгізуді талап етеді. Мақалада программалауға үйретуші мобильді қосымшаны жобалау және құру процесі, программалық жабдықтары, қосымшаның мазмұны, функционалдық мүмкіндіктері сипатталған.

Ақпараттық ресурстар, жүйелер және технологиялар – адамның қазіргі өмір сүруінің ажырамас, қарқынды дамып келе жатқан элементтері. Н.М.Куляшова, И.А.Карпюк және С.А.Дроздовтың еңбектерінде мобильді қосымшаларды құруда сапалы серпіліс үлкен сенсорлық экрандары бар мобильді құрылғылардың өндірісінен бастау алғандығын, бұл жаңа деңгейдегі мобильді қосымшаларды жасауға мүмкіндік беретінін көрсеткен. Көптеген программалаушылар кәсіби қызметтің жаңа бағыттарын игеріп, нарықтық үрдістерге бейімделе бастады [1].

Қазіргі уақытта мобильді қосымшаларды әзірлеу – ақпараттық технологиялар саласындағы ең танымал міндеттердің бірі болып табылады. Енді қосымшалар бірнеше көздерден алынған ақпаратқа талдау жасай алады және қолданушыға шешім қабылдауға, процестерді бақылауға және басқа да маңызды міндеттерді шешуге көмектеседі. Бұл өз кезегінде бизнес-процестерді оңтайландыруға, қабылданатын шешімдердің өнімділігі мен тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Оқытудың қазіргі әдістемелерін сапалы жаңғырту және жаңарту оқушыларды оқытудың қазіргі заманғы білім беру процесіне қажет. Мобильді программалық жабдықты пайдалану – оқытушылардың ғана емес, студенттердің де уәждемесін арттырудың тиімді және қолжетімді тәсілдерінің бірі. Мобильді оқыту – дәстүрлі оқытуды алмастырмайды, бірақ ол жоғары мектептегі оқыту процесіне қосымша ретінде және аралас оқыту компоненті ретінде пайдаланылуы мүмкін деп айтуға болады. Мобильді оқытуды белсенді қолдану компьютерлерді портативті гаджеттерге ауыстыруды мақсат етпейді, қайта білім беру үдерісін қызықты әрі өзекті әдістермен кеңейтеді және толықтырады.

Мобильді құрылғыларға арналған, арнайы бейімделген оқу материалдары бойынша, бұл әдіс – арнайы түрде қалыптастырылған электрондық оқулықтарды және оқыту файлдарын пайдалануды білдіреді, оқу материалдары мобильді платформаларға арналып арнайы жобаланады. Мобильді құрылғыларды оқыту құралы ретінде қолданудың осы тәсілі – оқушылардың мобильдік құрылғыларында оқу тапсырмаларын қарау және орындау үшін бейімделген және қалыптасқан мамандандырылған оқыту материалдарын қолдану болып табылады. Студенттерге мобильді құрылғыға арнайы программалар орнатуға және бақылау үшін қажетті тақырыптар бойынша оқу материалдарын жүктеуге мүмкіндік беріледі, мысалы – тестілер, сондай-ақ бақылау кезеңдерінен сәтті өту үшін қажетті барлық қосымша оқу материалдары да болады. Оқу материалдарын әзірлеудің заманауи құралдары осындай бағдарламалық кешендер мен оқу материалдарын жобалауға мүмкіндік береді, ал оқу материалдарында әртүрлі сызбаларды, кестелерді, формулаларды

және мультимедиа материалдарын орналастыру мүмкіндігі кез келген оқылатын пәнге қолданылатын және әмбебап оқу материалдарын жасауға мүмкіндік береді.

Мобильді құрылғыларға арналған жобаларды техникалық іске асырудың екі бағыты бар: мобильді web-сайт және мобильді қосымша.

1. Мобильді web-сайт деп мобильді құрылғыда көру және жұмыс істеу үшін бейімделген WEB сайт саналады. Сайт JavaScript, HTML5, және API браузерлерді пайдалана отырып, интерактивті компоненттерді қамтуы мүмкін. Бұл жағдайда мұндай сайт web-қосымша деп аталады.

2. Мобильді қосымшалар – мобильді құрылғыларға орнатылатын нақты мобильді платформа (iOS, Android, Windows Phone) бойынша арнайы әзірленген бағдарлама.

Ең алдымен, "мобильді қосымша" ұғымын анықтау қажет. "Мобильді қосымша" – бұл нақты мобильді платформа (iOS, Android, Windows Phone) үшін арнайы әзірленген қосымша. Көптеген мобильді қосымшалар алдын-ала орнатылған болады немесе App Store, Google Play Market, Windows Phone Store, Яндекс.Store сияқты қосымшалардың онлайн дүкендерінен тегін немесе ақылы жүктелуі мүмкін. Мобильді қосымшалар мобильді құрылғыларды пайдаланушылардың өмірін жеңілдетуге, сондай-ақ оны оңтайландыруға бағытталған .

Мобильді қосымша веб-сайттың ұялы нұсқасымен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие:

- ыңғайлы және түсінікті интерфейс;
- онлайн бағдарламалары;
- пайдаланушымен тұрақты байланыс;
- геолокация;
- қолданушы туралы деректерді дәл жинақтау.

Білім беруші мобильді қосымша қолданушыларға:

- дидактикалық материалды барынша ыңғайлы және көрнекі етіп беру;
- оқуға деген қызығушылық және білімдегі олқылықтарды жоюға;
- оқу материалына шолу жасау және талдау жасау;
- жауаптарды таңдау арқылы тестілеуден өту;
- кез келген ыңғайлы уақытта білім берумен айналысу;
- біліктілігі деңгейін арттыру;
- оқытушылардан жедел кері байланыс алу;
- оқыту материалдарына қол жеткізу және т.б. мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы технологиялар біздің өмірімізге терең енуде және қазір смартфонсыз немесе басқа да көпфункционалды гаджетсіз адамды табу қиынға соғады. Олардың жұмыс істеуі операциялық жүйесіз мүмкін емес және қазіргі уақытта Android операциялық жүйесі (ОЖ) ең танымал болып табылады. Ақпараттық технологиялар нарығын талдауға маманданған американдық Gartner компаниясының деректері бойынша Android үлесі 2017 жылдың 4 тоқсанында 85,9% құрады. Әлем бойынша осы операциялық жүйенің басқаруындағы 1,32 млрд. құрылғы сатылды [2]. Android салыстырмалы түрде жаңа операциялық жүйе болып табылады, бірақ қысқа уақыт ішінде ол мобильді құрылғылар нарығында өте танымал болды. Android платформасының негізгі артықшылықтарының бірі – оның

ашықтығы. Android операциялық жүйесі ашық бастапқы код негізінде құрылған және еркін таралған. Бұл әзірлеушілерге бастапқы кодқа қол жеткізуге және қолданбалардың қасиеттері мен функцияларының қалай жүзеге асырылғанын түсінуге мүмкіндік береді. Кез келген пайдаланушы осы операциялық жүйені жетілдіруге қатыса алады.Программалық жабдықтар ішінен Android платформасы таңдалды.

Ал программалауды үйретуге арналған мобильді қосымшаның мақсатты аудиториясын анықтау үшін, осы «Программалау» пәнін кім оқиды?»,-деген сұрақтың жауабын анықтадық, олар:

- Мектеп жасындағы оқушылар;
- ЖОО-да білім алып жүрген студенттер;
- «Информатика» пәнінің мұғалімдері;
- Өз бетімен программалауды үйренгісі келетін қолданушылар (IT саласында қызмет жасаушылар, мүмкіндігі шектеулі адамдар, т.б.)

Сайып келгенде, қосымшаны пайдалануда қолданушыларға қатысты шектеулер жоқ. Ақпараттың ой-өрісін кеңейтетін білім беруге еркін қол жеткізу – салауатты қоғамның негізгі шарттарының бірі.

Қосымшалардың барлық талаптары функцияларға бөлінеді - функциональды және функционалды емес. Функционалдық талаптар қолданушылар өз міндеттерін орындай алуы үшін әзірлеушілер жасауы тиіс жүйенің функционалдығын анықтайды. Функционалды емес талаптар жүйемен жұмыс істеу кезінде пайдаланушы үшін маңызды қосымшаның сипаттамасын білдіреді.

«B2A Learning» мобильді қосымшасының функционалдық мүмкіндіктерін мына ретпен сипаттауға болады:

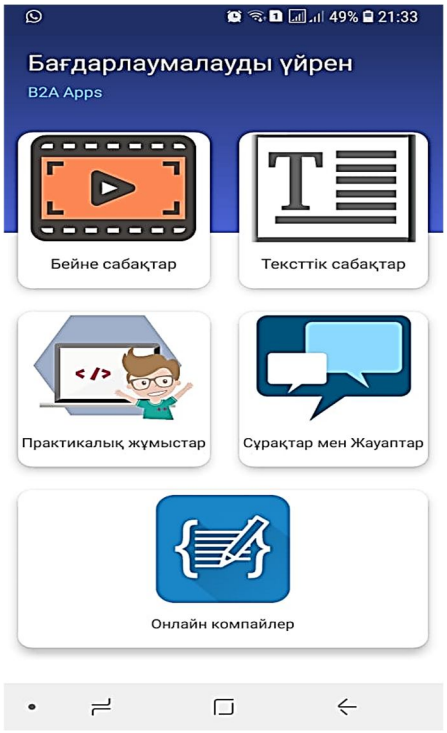
1) Қолданушы тіркеледі;
2) Оқитын пәнді таңдайды;
3) Таңдалған пәнге сәйкес бейне сабақтарды қарайды
4) Қажет болған жағдайда бейне сабақтың мәтіндік нұсқасын қарайды (3.2-сурет);
5) Сәйкес тақырып бойынша практикалық тапсырмаларды орындайды;
6) Онлайн Compiler көмегімен құрған программаларын орындауға жібереді, тексереді;

Әр тақырып соңында, бекіту мақсатында сұрақтарға жауап береді. Мобильді қосымшаның графикалық интерфейсінің дизайнын жобалау кезеңінде басты мақсат анықталды - пайдаланушыға жақсы байланыс жасау тәсілін қамтамасыз ету.

Осы аталған талаптарға сәйкес жасалған «B2A Learning» мобильді қосымшасының интерфейсі 1-суретте көрсетілген.

Қосымшаларды әзірлеуден бастамас бұрын, оның қандай түрі мен көлемін сақтау керек екенін анықтау қажет. Android операциялық жүйесінде деректерді сақтаудың бірнеше жолы бар:

1. Shared Preferences.
2. SQLite деректер қоры.
3. Ішкі немесе сыртқы жадты пайдалану арқылы қарапайым файлдар.



1-сурет. «B2A Learning» мобильді қосымшасының интерфейсі

Аталған тәсілдердің әрқайсысының өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар, бұл олардың арналуымен байланысты.Қарастырылған тәсілдердің бірі - Shared Preferences (Жалпы параметрлер). Бұл әдіс қарапайым деректерді сақтау болып табылады. Shared-prefs "жеке" бағдарлама қалтасындағы XML файлындағы "кілт-мән" түрінде. Shared Preferences boolean, string, float, long, int негізгі түрлерін қолдайды және әдепкі мәндерді, теңшелетін теңшеулерді, кластың айнымалы экземплярын, пайдаланушы интерфейсінің ағымдағы күйін жылдам сақтау үшін қолданылады. Көбінесе пайдаланушы сессиялары арасында деректердің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін пайдаланылады және көптеген бір типті құрылымдалған деректерді сақтау үшін жарамсыз.

Екінші әдіс үлкен көлемді деректерді оқу және жазу үшін басынан аяғына дейін рұқсат етілмеген. Бұл әдіс деректер, медиа және желі арқылы берілетін басқа да файлдар үшін қолайлы.

Үшінші әдіс шартты түрде екіге бөлуге және оларды дұрыс қарастыруға болады. Файлдарды ішкі жадыда сақтау пайдаланушы да, басқа да қолданбалар да өңделетін қосымшалардың файлдарына дейін болмауы тиіс болған кезде жұмыс істеу үшін қолайлы. Ішкі жады әрқашан қол жетімді. Android қолданбасын жойғанда, ішкі жадтан оның барлық файлдарын жояды.

Мобильді қосымша екі негізгі бөліктен тұрады: деректер қоры және программалық компоненттер.

Деректер қоры үш кестеден тұрады: Collections, Words және Users. Collections кестесінде пайдаланушы коллекцияларының тізімі және ол туралы ақпарат

сақталады. Word кестесінде сөздер тізімі сақталады, ал Meanings кестесінде осы сөздердің мәндерінің тізімі сақталады. 1-қосымшада кестелер деректерінің толық сипаттамасы берілген.

Мобильді қосымшаның компоненттері

Қосымша архитектурасы Model-View-Presenter жобалау паттернін қолданады. Осы паттерннің негізгі идеясы қосымшаның деректер моделін, пайдаланушы интерфейсін және пайдаланушымен өзара әрекеттесуді компоненттердің біреуінің модификациясы қалғандарына ең аз әсер ететіндей үш жеке компонентке бөлу үшін кілттеледі. Бұл паттерн кластардың 3 негізгі түрінің болуын болжайды:

1) Model – бағдарлама деректерін сақтауға жауап беретін класстар, сондай-ақ осы деректермен жұмыс істеу әдістері;

2) View – қосымшаның интерфейсі үшін жауап беретін класстар. Олар Presenter қабатының кластарымен берілетін деректерді өңдейді, сондай-ақ Presenter қабатының класына басқаруды бере отырып, қолданушының іс-әрекетіне жауап қайтарады (мысалы, түймені басу);

3) Presenter – Model мен View арасындағы байланысты қамтамасыз ететін класстар. Model өзгерістеріне жауап береді, сондай-ақ View қабатының кластарын берген қолданушының іс-әрекетін өңдейді.

Программалық жабдықты тестілеу белгілі бір түрде таңдалған тесттердің соңғы жиынтығында жүзеге асырылатын бағдарламаның нақты және күтілетін мінез-құлқы арасындағы сәйкестікті тексеру [3]. Қосымшаны тестілеу үшін келесі әдістер қолданылды:

- тақырып модульдік тестілеу;
- автоматтандырылған UI-тестілеу;
- функционалдық тестілеу.

Модульдік тестілеу – бұл бағдарламаның жекелеген компоненттерінің дұрыстығын тексеруге мүмкіндік беретін тестілеу түр

Автоматтандырылған UI тестілеу – жүйенің жұмысын нақты қолданушылардың жұмысын эмулирлеу көмегімен техникалық тапсырмаға сәйкестігін тексеру мақсатында жүргізілетін тестілеу түрі. Тестілеудің осы түрін жүзеге асыру үшін Espresso және JUnit кітапханалары пайдаланылды, олар нақты Android құрылғыларында да, эмуляторларда да тесттер өткізуге мүмкіндік береді.

Функционалдық тестілеу – бұл функционалдық талаптардың іске асырылуын тексеру мақсатында бағдарламалық қамтамасыз етуді тестілеу, яғни бағдарламалық қамтамасыз етудің белгілі бір жағдайларда қолданушыларға қажетті міндеттерді шешу қабілеті. Функционалдық талаптар бағдарламалық қамтамасыз етуді не істеп жатқанын, ол қандай міндеттерді шешетінін анықтайды. Құрылған қосымша сәйкес тестілеуден өтті.

Жоғарыда сипатталған алгоритм негізінде «B2A Learning» мобильді қосымшасы әзірленді, онда программалау бойынша сабақтар әзірленді, мультимедиалық оқу материалдары, қолданушы білімін тексеруге арналған тест ұсынылды. Мобильді қосымша оқу материалдарын сақтауға және таратуға, оқушылардың білімін бақылау туралы мәліметтерді тіркеуге, мониторинг пен бақылаудың негізгі функцияларын іске асыруға мүмкіндік береді.

Әдебиет

1. Куляшова Н. М., Карпюк И. А., Дроздов С. А. Основные принципы построения и классификации информационно-поисковых систем // Материалы XVI науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Мордов. гос. ун-та. им. Н. П. Огарёва: в 6 ч. - Ч. 3. Естественные науки. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 66-68
2. SQLite vs MySQL vs PostgreSQL: Сравнение систем управления базами данных. [Электронный ресурс] URL: http://devacademy.ru/posts/sqlite-vs-mysql-vs-postgresql/ (қаралу уақыты: 12.04.2017).
3. Введение в веб-модель MVC Spring. [Электронный ресурс] URL: https://netbeans.org/kb/docs/web/quickstart-webapps-spring_ru.html (қаралу уақыты: 23.04.2019)

ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ БҰЗЫЛУ САЛДАРЫ МЕН ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ БАСТЫ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Зиятбекова[1,2] Г.З., Мазаков[1,2] Т.Ж., Kisala[3] Р.А.
e-mail: ziyatbekova@mail.ru
[1]ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты», Қазақстан
[2]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан
[2]Люблин техникалық университеті, Польша

Аңдатпа: *Мақала өзен ағынын модельдеу әдістерін әзірлеуге арналған. Онда ағынды модельдеудің ықтимал тәсілдері қарастырылады.Су тасқынының және серпінді толқындардың таралуын компьютерлік модельдеу негізінде соңғы болған су тасқыны мен ауыл шаруашылық жерлерін су басудан қорғау шараларына талдау жүргізілді. Су деңгейіне автоматтандырылған бақылау жүргізу гидротехникалық құрылымдардың серпілісіне жол бермеудің оңтайлы тәсілі болып табылады. Бұл ақпарат болашақта төтенше жағдайды болжау үшін қолданылады.*

Түйінді сөздер:*су тасқыны мен серпінді толқындар, су басу, компьютерлік модельдеу.*

Кіріспе. Соңғы жылдары әлемде су тасқыны мен соған байланысты әлеуметтік және экономикалық шығындар саны мен масштабының ұлғаюы байқалады. Қазіргі уақытта табиғи апат ретінде су тасқынының барлық жерде толығымен алдын-алу мүмкін емес, оларды әлсіретуге, оқшаулауға және материалдық шығындарды азайту үшін уақытылы ескерту қажет. Мәселен, 2018 жылы еліміздің әртүрлі аймақтарындағы су тасқыны бірнеше мың гектар алқапта ауылшаруашылық дақылдарының жойылуына әкелді. Жағдайдың өте ауыр болғаны соншалық,

Қазақстанның орталық және солтүстік аймақтарында билік басындағылар халықты оқшаулауға мәжбүр болды.

Су тасқыны немесе серпіліс толқыны салдарынан болуы мүмкін апаттың ауданын анықтау үшін қолданыстағы бағдарламалық жасақтаманы қымбат жабдықты пайдаланатын жоғары білікті мамандар ғана мүмкін етеді, бірақ олардың құны өте жоғары. Сонымен бірге модельдеудің қолданбалы әдістері мен бағдарламалық өнімдер апатты су тасқынының салдарын бағалауға байланысты мәселелерді жедел шешуге қауқарсыз. Ауылшаруашылық жерлерін су басудан қорғау шараларын негіздеу үшін су тасқыны мен серпінді толқындарды модельдеудің жедел технологиясын дамыту ғылыми зерттеулердің маңызды бағыты болып табылады.

Экспресс технологиясы дегеніміз - ауылшаруашылық жерлерін су басудан қорғау шараларын тез және тиімді негіздеуге мүмкіндік беретін ғылыми қызмет.

Қазіргі уақытта су тасқыны мен су басу толқындарының таралуына байланысты төтенше жағдайлардың көптеген мысалдары бар. Бүгінгі таңда біздің алдымызда ауыл шаруашылығы жерлерін және елді мекендерді су тасқынынан қорғау міндеті тұр. Ауылшаруашылық жерлерін су басу ауқымды су тасқыны кезінде және басқа да табиғи және техногендік факторлар болмаған кезде пайда болады, мысалы:

• тым көп шығындар болған кезде, су қоймаларының толып кетуі және қоқыс шығаратын қондырғылардың қалыпты жұмысының бұзылуы мүмкін, бұл бөгеттің шөгіндісі арқылы судың толып кетуіне және шұңқырдың пайда болуына әкеледі;

• пайдаланудың ұзақ мерзіміне байланысты бөгеттің негізгі құрылымдары мен гидромеханикалық жабдықтардың тозуы мүмкін, бұл бөгет корпусында шұңқырдың пайда болуына әкелуі мүмкін;

• қауіпті жағдайларды бақылаудың және су тасқыны туралы болжам деректерінің болмауымен, сондай-ақ, кадрлық қателіктерге де байланысты;

• бөгеттің бұзылуына әкелуі мүмкін террористік актінің салдарынан.

Соңғы жылдары елімізде болған су басу деректерін алып қарасақ, ШҚО-да бірнеше үйді су басса, Ішкі істер министрлігі мұндай жағдайға өзге 5 облыстың да дайын болуы керегін ескерткен. 2017 жылы су тасқынынан Ақмола, Ақтөбе, Шығыс Қазақстан, Қарағанды, Қостанай, Павлодар және Солтүстік Қазақстан облыстары ең көп зардап шекті. Оқшауланған 4715 адамның көпшілігі Ақмола (1340 адам), Қарағанды (1850) және Ақтөбе (1174) облыстарынан болды. Ақмола облысындағы Атбасар қаласына су тасқынынан ең көп зардап келді. Ондағы су ағынының күшті болғаны соншалық, қаланы қорғайтын бөгет биіктігі 5 метрден асатын тасқынмен жойылды. Атбасардағы үйлердің бірінші қабаттарындағы су деңгейі 1 метрден асты. Өкінішке орай, 2018 жыл ерекше болмады. Наурыз айының басында алаңдатарлық жаңалықтар пайда бола бастады: Алматы облысында Тұздыбастау ауылының тұрғындары су басу қаупіне байланысты оқшауландырылды, Жамбыл облысында Өрнек, Ақыртөбе, Тереңөзек және Мамай ауылдары су астында қалды. Ақмола, Шығыс Қазақстан, Қарағанды және Солтүстік Қазақстан облыстарында қатты су тасқыны болды.

Сурет 1: Baq.kz. Қазақстандағы су тасқыны салдары (4 Сәуір 2018, 12:37)

Су басу қаупі бар аймақта тұрсаңыз алдын ала қандай шаралар жасау керек? Су басқанда және одан кейін не істеу керегін білесіз бе? Бұл сұрақтарға жауап ретінде Baq.kz тілшісі пайдалы кеңестермен жиі бөліседі [1]. Су тасқынының салдары жаппай індетке, егістіктің бүлінуі мен малдың қырылуына, үйлер мен коммуникацияның қирауына, адамдардың өліміне әкеп соғуы мүмкін. Тарихи деректерге сүйенсек әлемдегі ең үлкен 3 су тасқынын тілге тиек етеді:

1) 1737 жылы. Индия. Желдің әсерінен көтерілген толқыннан 300 мың адам қаза тапты.
2) 1887 жылы. Қытай. Хуанхэ өзенінің деңгейі 20 метрден асты. Шамамен 1 миллионға жуық адам қаза тапты. Бұл су тасқыны адамзат тарихындағы ең қайғылы жағдай болып саналады.
3) 1900 жылы. АҚШ. Галвестон қаласын су басып 6000 адам қаза тапты.

Әдістері. Су тасқынынан қорғаудың кең таралған әдісі - бөгеттер салу. Қорғаныс объектілерінің едәуір көлемін ескере отырып, гидродинамикалық модельдеуді қолдану қорғаныс құрылымдарының параметрлерін анықтауда басты бағыт болып табылады. Оның негізінде тасқын және серпінді толқындардың таралуы ескеріліп, өзен алқабындағы су тасқынының аймақтары есептелген.

Нәтижесі. Өзен мен жағалаудағы жерлерді пайдалану қажеттілігі мен су тасқынынан болатын шығындар арасындағы қақтығысты шешуге көптеген сарапшылар бірнеше рет әрекет жасады. Бірақ әзірге бұл жанжал шешілген жоқ. Жағалаудағы жерлерді пайдалану мүмкіндігі мәселесін шешу үшін су тасқыны кезіндегі зиянды талдап, саралау қажет. Ауылшаруашылық аудандарында жыл

сайынғы су тасқыны салдарынан және ауыл шаруашылығы алқаптарын су басу салдарынан шығындар өте үлкен. Су тасқыны дақылдарға зиян келтіреді, әртүрлі инженерлік және мелиоративті жүйелерге де айтарлықтай зиян әкеледі.

Жерді пайдаланудың қазіргі проблемалары жердің су тасқынымен байланысты болуы мүмкін төтенше жағдайлардың нәтижесінде жердің сапасын бақылауды және сенімді болжауды қажет етеді. Су тасқыны немесе серпінді толқын жағдайында жердің сапасы айтарлықтай нашарлайды. Тасқын кезінде өзен суының азғантай көтерілуінің өзі жағалаудағы жерлерді су басуына алып келуі мүмкін, бұл әрдайым шығымдылығымен және жер сапасының нашарлауымен байланысты айтарлықтай шығынға әкеледі. Бөгеттің алдыңғы қысымын бұзған жағдайда ең қауіпті жағдай байқалады. Бұл жағдайда туындаған серпіліс толқыны орасан зор шығынға әкеледі, ауылшаруашылықты ғана емес, сонымен бірге елді мекендердің жерлерін де су басуы мүмкін, бұл апатты зақым келтіруі мүмкін.

Су тасқыны салдарынан болатын зиянды болдырмау үшін инженерлік-техникалық шараларды орындау қажет:

— түрлі инженерлік құрылымдарды қолдана отырып, өзендердің су тасқынын бақылау және реттеу: бөгеттер, өзен жағаларын нығайту, арналарды түзету және т.б.;

— су тасқынының барынша қауіпті учаскелеріне сәйкес инфрақұрылым элементтерін және тұрғын үйлерді жобалау және ұтымды орналастыру;

— су тасқыны жиі болатын аудандарда үйлер салуға немесе ғимараттардың бірінші қабаттарын тұрғын емес ғимараттарға беруге болады;

— төтенше жағдайлардың туындау ықтималдығын ескере отырып, жұмыстың тұрақтылығын қамтамасыз ету, маңызды инфрақұрылым элементтерін салу: көпірлер, байланыс желілері және т.б.

Барлық су тасқынына қарсы шаралар нақты инженерлік негіздеуді қажет етеді. Мұндай зерттеулерді жүргізу үшін көбінесе материалдық және уақытты қажет ететін үлкен шығындар қажет. Қолданыстағы бағдарламалық жүйелердегі серпінді толқынның жоғары сапалы моделін жүргізу үшін жоғары білікті мамандар, қымбат құрал-жабдықтар қажет, бағдарламалық қамтамасыз етудің өзі де жоғары болуы керек. Мұның бәрі үлкен материалдық салымдарды қажет етеді, өз кезегінде қолда бар әдістер қойылған міндеттерді жедел шешуді ұсынбайды.

Айта кету керек, бүгінгі таңда басты жол − жағалаудағы бөгеттерді салу. Жағалаудағы бөгеттердің (дамбалардың) құрылысы сол бөгеттердің өлшемдерін дәл анықтауды қажет етеді, әйтпесе, олар арқылы су құйылған кезде бөгеттерді су шайып кетеді. Судың одан әрі таралуын болдырмас үшін бөгеттер салудың құрылыс алаңдарын дәл анықтау қажет. Қатты су ағысын кесетін бөгеттерді салу құны олардың ұзындығына және биіктігіне тікелей байланысты болғандықтан, олардың параметрлерін оңтайландыру қажет. Тасқынның ықтимал аймақтарын анықтау үшін өзен ағынын жобалау мен салу, модельдеу кезінде жағалауды қорғау құралдарын қолдану ең ұтымды қорытынды болуы мүмкін. Одан әрі алынған модельдеу нәтижелері бойынша бөгеттердің параметрлерін есептеуге болады. Мұндай есептеулер аумақты су тасқынынан қорғау үшін жағалауды қорғау құралдарының оңтайлы параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді.

Ресейдегі мелиорация ғылымының негізін қалаушы А.Н. Костяков болды. «Мелиорация негіздері» [2] атты іргелі еңбегінде ол өзен мен жайылымды жерлерді мелиорациялау әдістерін сипаттаған. Топырақтың деградациясы, оның ішінде

антропогендік фактордың әсерімен А. А. Измайлский және Б. А. Шумаков еңбектерінде сипатталған [3]. Б.Брудастовтың еңбектерінде жабық коллекторларды қолдану арқылы жер үсті суларын ағызу әдісі сипатталған [4]. Мелиорациялық шараларды жобалауда С.Ф. Аверьяновтың қалпына келтірілген жерлердің су режимін басқару, суды ағызу үшін дренажды есептеу әдістері туралы жұмыстары кеңінен қолданылады [5].

Су тасқыны мен серпінді толқындарды модельдеу және ауылшаруашылық жерлерін су басудан қорғау шараларын негіздеу мәселесін шешу үшін су ағынын модельдеудің ықтимал тәсілдерін сипаттайтын әдеби деректерге талдау жасалған.

Су тасқыны салдарынан су тасқыны аймақтарын алу мәселесін шешу үшін нәтиже алудың келесі әдістері мүмкін:

1. Физикалық модельдер;
2. Аналитикалық есептеулер жүргізу;
3. Сандық модельдеу.

Бүгінгі таңда су тасқыны мен серпінді толқындардың таралу параметрлерін тек компьютерлік модельдеу көмегімен анықтауға болатындығы көрсетілді.

Сұйықтықтардың ағымы бір-біріне мүлдем ұқсамайтын екі топқа бөлінеді: ламинарлы (бірқалыпты әрі баяу өзгермелі, яғни тұрақты) және турбулентті (ретсіз, яғни бұзылған). Су тасқыны мен серпінді толқындардың таралуы жағдайында сұйықтық ағыны турбулентті болады.

П. Брэдшоу (1971) [6] турбуленттіліктің мынадай анықтамасын алға тартты: «бұл үш өлшемді тұрақсыз қозғалыс, ол иірімдердің кеңеюіне байланысты, жылдамдық импульстарының толқын ұзындығы диапазонында тұтқыр күштермен анықталған минимумнан ағымның шекаралық шарттарымен максимумға дейін үзіліссіз бөлінуі. Бұл Рейнольдстың төмен сандарындағы ағындарды қоспағанда, қозғалатын сұйықтықтың әдеттегі күйі болып табылады».

Ламинарлы және турбулентті ағын режимдерінің болуы XIX ғасырдың бірінші жартысында белгілі болды, бірақ турбуленттілік теориясының басталуы Осборн Рейнольдстың (1883) еңбектерінде сипатталған [7]. Рейнольдс деп аталатын, тұтқыр сығылмайтын су ағындарының динамикалық ұқсастығына жалпы критерийдің бар екендігі анықталды:

$$Re = \frac{UL}{\nu}, \quad (1)$$

мұндағы: U - сипаттамалық жылдамдық, м/с; L — қарастырылған ағындағы сипаттамалық ұзындық шкаласы, м; ν — кинематикалық тұтқырлық коэффициенті, $м^2/с$.

Егер *Re* саны айтарлықтай аз болса, онда сұйықтық ағыны ламинарлы болатындығы анықталды. *Re* критикалық мәнге жеткенде сұйықтықтың қозғалысы турбулентті болады.

Турбулентті ағындардағы импульсті беру процестерін сипаттаудың алғашқы әрекеті Буссинескке (1877) тиесілі [8]. Бұл идеялар Прандтль (1925) жұмысында дамыған [9]. Л.Г. Лоицянский (1958) жұмысында «жергілікті» гипотезасының қазіргі тұжырымдамасы анықталған [10]. Ричардсонның еңбектерінде турбулентті ағындағы энергия берудің каскадты механизмі сипатталған (1922) [6]. Әрі қарай

біртекті және изотропты турбуленттілік туралы түсінік Джеффри Тейлордың (1935) еңбектерінде енгізілді [6]. Кейінірек орыс ғалымы Андрей Николаевич Колмогоров (1941) [11] жергілікті изотропты турбуленттіліктің біртұтас теориясын құруда маңызды нәтижелерге қол жеткізді. Қабырғалық турбуленттіліктің жартылай эмпирикалық теориясының маңызды зерттеулері 1950 жылдары Э. Ван-Дрист (1956) [12] және Ф. Клаузер (1956) жасаған. Екінші сәтте теңдеулерді қолдануға негізделген турбуленттік теорияны дамытуда А.Н.Колмогоров (1942) және Прандтль-Вигардт (1945) еңбектері ойнады, онда турбуленттік тұтқырлық коэффициенті мен турбуленттік кинетикалық энергия туралы гипотеза ұсынылды. Соңғы кездері турбуленттілікті модельдеуге балама тәсілдер белсенді түрде дами бастады. Осылайша, тікелей сандық модельдеу (DNS - Direct Numerical Simulation) тұжырымдалды. Осы әдіспен алынған нәтижелерді сипаттайтын жұмыстардың ішінде В. Шуман, Г. Гретббах, Л.Клейзер (1984) тұр [13]). Турбулентті ағындарды тікелей сандық модельдеудің шектеулі әдістеріне байланысты (DNS ірі иірімдерді модельдеу әдістері жасалды; LES-тәсілдері). LES әдісінің негізгі идеясы - белгілі бір операция арқылы үлкен және кіші құрылымдарды формалды математикалық түрде бөлу. Осы саладағы негізгі жұмыстар: Ф. Дюрст, Б.Е. Лаундера (1982), Дж. Ферцигер (1977), Смагоринский (1963, 1971) [6], (Д. Лилли, 1967).

Содан кейін турбулентті ағындарды модельдеудің жаңа әдісі «Ажыратылған құйынды модельдеу» (DES) деп аталатын әдіс болды (М.Х. Стрелец, Ф. Спаларт (АҚШ), т.б. жұмысы) (1997). Соңғы кездері турбулентті ағындарды модельдеуге арналған LES - DES аралас әдістері жасалды.

Қазіргі уақытта көптеген алгоритмдер мен бағдарламалар бар. Компьютерлік технологияның қарқынды өсуіне байланысты есептеу жылдамдығы айтарлықтай өсті, бұл жоғары сапалы модельдеуге мүмкіндік береді. Бірақ айта кету керек, нақты өмірлік тапсырмаларды орындау кезінде сапалы ақпарат алу маңызды бола түседі. Мұндай деректердің дәл еместігі күрделі компьютерлік модельдерді қолданудың артықшылығын төмендетуі мүмкін. Іс жүзінде ең танымал және қолданылатын бағдарламалар: Дания гидравликалық институты мен HEC-RAS әзірлеген, АҚШ қорғаныс министрлігі жасаған MIKE 11 бағдарламалар. HEC - RAS бағдарламалық пакеті өзен ағынын бір өлшемді модельдеуге мүмкіндік береді және өзендер мен каналдарға қолданылады. MIKE 11 бағдарламалық өнімі гидродинамикалық процестерді модельдеуге мүмкіндік береді, мысалы бөгеттің бұзылуы, серпінді және тасқын толқындары, шөгінділер және т.б. MIKE 11 модулі бір өлшемді Сен-Венан теңдеулері негізінде анық емес Эббот айырмашылық схемасының шешімін табуға мүмкіндік береді. Өзен ағынын екі өлшемді модельдеу үшін MIKE 21 бағдарламалық пакеті жасалды.

Бағдарламалық жасақтама жүйелерінің артықшылығы - олардың ыңғайлы, пайдаланушылық интерфейсі, пайдаланылған модельдерінің сенімділігі жеткілікті. Кемшіліктерге бағдарламалық өнімдер құнының жоғары болуы және модельдеу үшін бастапқы деректерді қою қиындықтары жатады.

Өзен ағынын модельдеуге арналған ресейлік бағдарламалар қатарында ИРЭБ ғылыми-жобалық орталығы әзірлеген «ГИДРА», «ВОЛНА», «Hydro Grash» бағдарламаларын атап өту керек. Сонымен қатар НИИЭС-те А.Н. Милитеев, В.В. Беликов, С.Я. Школьниковтардың жетекшілігімен жасалған бағдарламаларды атап айтуға болады. Сондай-ақ, А.Н. Милитеев, В.В. Беликов, В.В. Кочетков жасаған

RIVER бағдарламасын да ерекше атап өтуге болады. Ол бір өлшемді Сен-Венан теңдеуі мен үздіксіздік теңдеуін бірлесіп шешудің өзіндік алгоритмі негізінде су басудың шығындарын, деңгейлері мен аймақтарын есептеуге арналған.

Толқын ойпат бойымен таралған кезде бір өлшемді Сен-Венан теңдеулерін қолдану тиімсіз, ол кезде екі өлшемді теңдеулерді шешу қажет. Екі өлшемді Сен-Венан теңдеулерін шешуге негізделген модельдеу В.В. Беликов жасаған «БОР» бағдарламасымен ұсынылған. Ол өзендер мен өзен алқаптарындағы тасқын суларды есептеуге мүмкіндік береді.

Айта кету керек, құрылымдардың жанындағы серпінді толқын немесе тасқын толқындарын модельдеу кезінде сұйықтықтың қозғалысы туралы нақты мәлімет алу үшін үш өлшемді модельдерді қолдану. Сандық модельдеу үш өлшемді эволюциялық Навье-Стокс теңдеулерін шешуді қажет етеді. Бұл тәсіл Los Alamos Lab Flow3D бағдарламалық пакетінде жүзеге асырылады. Сонымен қатар, американдық ANSYS Inc компаниясы жасаған Annsys 14 бағдарламалық пакетінде 3D сандық модельдеуді жүзеге асыруға болады. Әсіресе, FlowVision бағдарламалық өнімдерін атап өткен жөн. Бұл әртүрлі гидродинамикалық есептерді шешуге мүмкіндік береді, оның ішінде үш өлшемді стационарлы және стационарлы емес ағындар әртүрлі турбуленттік модельдерді қолдану арқылы сығылатын, әлсіз сығылатын және сығылмайтын сұйықтықтың ағындары болып табылады.

Осылайша, барлық қолданыстағы бағдарламалық жүйелерді бірөлшемді, екіөлшемді және үшөлшемді деп бөлуге болады. Бірөлшемді және екіөлшемді жағдайларда сандық модельдеу зерттелетін модельді айтарлықтай жеңілдетеді және төменде көрсетілетін серпінді толқынның немесе тасқын толқынының таралуы кезінде жүретін процестердің толық бейнесін бермейді. Сонымен, су тасқыны мен серпінді толқындарды есептеу үшін үш өлшемді сандық модельдеуді қолдану ең тиімдісі болады.

Көптеген жағдайларда гидродинамикалық модельдеудің негізгі жүйесі - бұл Навье-Стокс эволюциялық теңдеулерінің үшөлшемді жүйесі. Өзен ағынын модельдеу міндеті, әрі маңызды мәселе болып табылады. Қазіргі уақытта өзен ағынын болжаудың бірегей шешімі жоқ. Әдістерді жеңілдетуге үнемі ұмтылу зерттеу нәтижелерінде сапаның жоғалуына әкеледі. Бірақ неғұрлым күрделі модельдер үшін көптеген қол жетімді емес бақылаушы деректерді көрсету керек болады, сондықтан модельдерді жеңілдетуге жүгіну керек. Өзен ағынын модельдеудің бір өлшемді модельдерін тек алдын-ала есептеулер үшін пайдалануға болады. Дәлірек зерттеу үшін жоғары деңгейдегі модельдерді қолдану керек.

Қорытынды. Бұл мақалада су тасқыны мен серпінді толқындардың таралуы параметрлерін тек компьютерлік модельдеу көмегімен анықтауға болатындығы көрсетілген. Қарастырылған барлық әдістер су тасқынына қарсы шараларды негіздеу үшін бастапқы деректерді тез алуға мүмкіндік бермейді және айтарлықтай материалдық және уақыт ресурстарын қажет етеді. Осылайша, су тасқынына қарсы іс-шараларды инженерлік негіздеудің жеңілдетілген технологиясын жасау қажеттілігі салыстырмалы түрде салыстырылады, алынған нәтиже алдыңғы нәтижелерімен салыстырылады, бірақ сонымен бірге модельдеу жылдамдығымен және іске асырудың қарапайымдылығымен ерекшеленеді. Технология енгізу

деректерінің минималды жиынтығымен су толқынының немесе серпінді толқынның таралуын модельдеуге мүмкіндік беруі керек, оның көмегімен тереңдігі бойынша сараланған зерттеу аймағының екі өлшемді картасын алуға болады, сондай-ақ толқындардың таралуын сипаттайтын басқа параметрлер болады.

Жұмыс AP05131027 «Ақпаратты қорғаудың биометриялық әдістері мен құралдарын жасау» жобасы бойынша 2018-2020 жылдарға арналған ғылыми зерттеулерге гранттық қаржыландыру есебінен жүргізілді.

Әдебиет

1. https://kaz.zakon.kz/4911804-su-tas-yny-kez-nde-este-sa-taytyn-6-ke.html (02.09.2019 қаралды).
2. Костяков А.Н. Основы мелиорации. - М.:Колос, 1960. – 862с..
3. Добровольский Г.В. Деградация и охрана почв. - М.:Изд-во МГУ, 2002. – 654с.
4. Брудастов А.Д. Осушение минеральных и болотных земель. - М.: Сельхозгиз, 1955.– 444 с.
5. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. - М.: Колос, 1982. -237 с.
6. Бредшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. - М.: Мир, 1974. – 239 с.
7. Годунов С.К. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1971. – 416 с.
8. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов В.Н. Развитие физико-математических моделей формирования речного стока и опыт их применения при недостатке гидрометрических наблюдений // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 2004.
9. Prandtl L. Uber die ausgebildeteturbulenz. – ZAMM, 1928, №5.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987. – 904 с.
11. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // Докл. АН СССР, Т.30, №4, 1941. – с. 299-303.
12. Van-Driest E.R. On turbulent flow near a wall // J.Aeronaut. Sci, 1956, v. 23, № 10.
13. Колльман В. Методы расчета турбулентных течений. - М.: Мир, 1984. – 464 с.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Сембиев О.З., Кемельбекова Ж.С.
E-mail: kemel_zhan@mail.ru
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,
Шымкент, Қазақстан Республикасы.

Аңдатпа. *Қазіргі таңда Интернет желілерінің ең негізгі қызметі электрондық почта қызметі және мамандықтары бір немесе ортақ қызығушылығы бар топтардың немесе ізденушілердің бір-бірімен жылдам мәлімет алмасуы болып табылады. Бұл мақалада компьютерлік желілер технологиясы ішінде асинхронды тасымалдау режиміндегі коммутациялар каналы және көп каналды шақырулар қарастырылған. Коммутациялар каналында жүктемелерді үйлестіру жолдары, әр бір түйінде жүктеменің таратылуы, бос болмай қалған жағдайда өтпелі түйіндерге жүктемелер үйлестірулері зерттелген.*

Қазіргі әлемде сандық технологиялар елдер экономикасын дамытуда аса маңызды рөл атқарады. Цифрлық технологиялар бірқатар артықшылықтарды береді, халық пен бизнестің мемлекеттік қызметтерге қол жеткізуін жеңілдету, ақпарат алмасуды жеделдету, бизнесті жүргізу үшін жаңа мүмкіндіктер пайда болу, жаңа сандық өнімдер мен т. б. құру. Интернет желісініде деректерді тасымалдаудың қолжетімділігі, тұрақтылығы және қауіпсіздігі – бұл барлық салаларды дамытудың технологиялық негізі сондай-ақ халықтың өмір сүру сапасының жоғары болуы.

"Цифрлық Қазақстан" мемлекеттік бағдарламасының негізгі мақсаты – тұрақты экономикалық өсуге қол жеткізу, экономика мен ұлттың бәсекеге қабілеттілігін арттыру, халықтың өмір сүру сапасын жақсарту үшін цифрлық экожүйені прогрессивті дамыту.

"Цифрлық Қазақстан" мемлекеттік бағдарламасын іске асыру төрт негізгі бағытта жүргізіледі: Цифрлық Жібек жолын іске асыру. Бұл сенімді, қолжетімді, жоғары жылдамдықты және қорғалған сандық инфрақұрылымды дамыту; Креативті қоғамды дамыту. Бұл сандық экономика үшін құзыреттер мен дағдыларды дамыту, халықтың сандық сауаттылығын арттыру бойынша жұмыстарды жүргізу, сала үшін ақпараттық коммуникативтік технологиялар (АКТ) мамандарын дайындау; Экономика салаларындағы сандық өзгерістер. Бұл экономиканың әртүрлі салаларының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін сандық технологияларды жаппай енгізу; Белсенді мемлекетке көшу. Бұл электрондық және мобильді үкімет жүйесін жетілдіру, мемлекеттік қызметтер көрсету саласын оңтайландыру[1].

Осы бағдарламаларды іске асыру нәтижесінде 2021 жылы Интернет желісін пайдаланушылардың үлесі – 81%; 2021 жылы халықтың цифрлық сауаттылық деңгейі – 81,5%; 2021 жылы акт – да еңбек өнімділігінің өсуі – 5,9% ; 2021 жылы "Тау – кен өндіру өнеркәсібі және карьерлерді қазу" секциясы бойынша еңбек өнімділігінің өсуі-6,3 %; 2021 жылы "Көлік және қоймалау" секциясы бойынша еңбек өнімділігінің өсуі-4,8%; 2021 жылы АКТ саласында жұмыспен қамтылған; мемлекеттік қызметтердің жалпы көлемінен электрондық түрде алынған мемлекеттік қызметтердің үлесі-80% өсуі жоспарлануда.

"Цифрлық Жібек жолын іске асыру" бағыты бойынша Министрлік мемлекеттік-жеке меншік әріптестік тетігі арқылы "талшықты-оптикалық байланыс желілері технологиясы бойынша ауылдық елді мекендерді кең жолақты қолжетімділікпен қамтамасыз ету"жобасын іске асыруда. Жалпы, жоба бойынша 1249 ауылда кең жолақты байланыс желісін қамтамасыз ету жоспарланып отыр, барлығы 20 мың километрден астам оптоталшық салу жоспарланған[2].

"Цифрлық Креативті қоғамды дамыту" бағыты бойынша 5G стандартын, яғни 100 Мбит/с жоғары жылдамдықпен деректерді беруді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін ұялы байланыстың ең заманауи буынын енгізу 2020 жылдан кейін жүзеге асырылады деп күтілуде.

"Цифрлық Экономика салаларындағы сандық өзгерістер" бағыты бойынша 2023 жылдан кейін "KazSat-2R"» - мобильді, спутниктік байланыс және телерадио хабарларын таратуды қолдауды жүзеге асыратын қазақстандық байланыс спутнигін қосу жоспарлануда.

Қазақстан – Халықаралық желілерге көп шығатын, сондай-ақ өңірлік және жаһандық интернет-желілер үшін транзиттік нүкте ретінде танымалдыққа ие ел. Бүгінгі күні көптеген ұялы байланыс операторлары бар және олар телефон мен базалық станция арасындағы контактіге қолдау көрсетеді, телефон станция сигналын табады және оған өз кодын жібереді. Егер ұялы бір станцияның әрекет өрісінен шықса, ол басқа станцияға қосылады. Мобильді байланыстың негізгі артықшылығы-әлемнің кез келген нүктесінен тәуліктің кез келген уақытында басқа абонентпен хабарласу мүмкіндігі.

Қазақстанның ұялы байланыс операторлары:

* Beeline;
* Tele2;
* Kcell;
* Altel.

Қазақстанда ұялы байланыс GSM және UMTS, LTE форматтарында жүзеге асырылады. Ұялы байланыс компаниясы Алтел 2012 жылы 4G желісін іске қосты. Қалған операторлар 4G үшін жиіліктерді кейінірек алып, 2016 жылы желілерді кеңейтеді. Жақын болашақта Қазақстанда 5G (IMT2020) желілерін 1 Gb/c дейін қатынау жылдамдығы мен оператордың серверлерін айналып өтіп, абоненттер арасында деректерді тікелей беру мүмкіндігі арқылы іске қосу жоспарлануда. 4G стандартының ұялы желілерінің пайда болуы және елдің барлық аумағы бойынша байланыстың қол жетімділігі тіркелген байланыс абоненттерінің және интернет желісіне сымды қосылыстардың санының азаюына алып келді.

2019 жылғы қаңтар–маусымда байланыс қызметтерінің жалпы көлеміндегі ең үлкен үлес Интернетке, ұтқыр байланысқа, сондай-ақ өзге де телекоммуникациялық қызметтерге тиесілі. Оған келесі диаграмма дәлел бола алады.

"Үлкен үштік" республиканың барлық телекоммуникация нарығының 81,9% -ын өзіне шоғырландырады.

Бүгінгі күні Қазақстанның телекоммуникация саласын дамытудың негізгі міндеті ауыл тұрғындарын Интернет желісіне кеңжолақты қатынау қызметтерімен қамтамасыз ету болып табылады. Ауылдық жерлерде Интернет желісіне қатынау қызметтері ADSL, CDMA/EVDO технологияларын пайдалана отырып, ADSL, CDMA/EVDO, 3G, 4G аудан орталықтарында, қалалық жерлерде – ADSL, FTTH, 3G, 4G. Республиканың барлық ірі қалалары мен облыс орталықтарында 8 Мбит/с дейін (951,7 мың абонент) ақпарат беру жылдамдығымен ADSL технологиясы бойынша Интернет желісіне кең жолақты қатынау қызметтері көрсетіледі. 2014 жылы республиканың барлық ірі қалаларында 120 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен (658,2 мың абонент) пәтерге/ғимаратқа талшықты-оптикалық қосылуды пайдалана отырып FTTH/B желілерінің құрылысы аяқталды.

Сурет 1 – Байланыс түрлерін қолдану пайызы

Осы орайда, жоғары жылдамдықты және қорғалған деректер беру, сақтау және өңдеу инфрақұрылымының негізі ретінде қызметтерді интеграциялайтын кең жолақты сандық желіні пайдалануға болады. Берілген ақпараттың көлемін ұлғайту және кеңжолақты арналардың пайда болуы қызметтерін (қызметтерін) интеграциялаумен кеңжолақты цифрлық желілерді (B-ISDN) дамытудың алғышарттарын құрды. Кеңжолақты жақсы қорғалған бөгеуіл арналары талшықты оптика арқылы жасалған[3]. Бұл ретте пайдаланушылардың ақпаратын беру жылдамдығы ондаған Тбит/с жетуі мүмкін. Мұндай жылдамдық режимдері әр түрлі қызметтердің (теледидар, сұраныс бойынша бейне, мультимедиалық хабарлар және т.б.) ақпараттарын тасымалдаудың жоғары сапасына кепілдік береді.

Автоматты коммутация техникасын дамыту, есептеу техникасының байланыс техникасына және байланыс техникасына өзара енуі байланыс желілерін басқарудың жоғары ұйымдастырылған адаптивті жүйелерін, ақпарат ағындарын және абоненттердің ақпарат беруге өтінімдеріне қызмет көрсету процестерін әзірлеуге алып келді. Мұндай адаптивті басқару жүйелері асинхронды тасымалдау (ATM) желісінде желінің жекелеген элементтерінің пайда болатын ақауларының әсерін жоюды немесе әлсіретуді және абоненттер мен желі тораптары арасындағы ақпарат ағындарының уақытында өзгерістерін абоненттердің өтінімдеріне қызмет көрсету сапасына және ақпарат беру сапасына қамтамасыз етеді[4].

Сонымен қатар, бұл желі байланыс арналары арқылы мультимедиалық трафикті тасымалдауға, яғни негізінен бейне және аудио ақпаратты беруге арналған. Мұндай ақпарат түрі арналарды коммутациялау әдісін қолданады, атап айтқанда, бұл ақпаратты ұсынбас бұрын желінің корреспонденциялаушы абоненттері арасында виртуалды арналарды қосуды жүзеге асыру қажет. Виртуалды жолдардың мұндай қосылуы көп арналы шақырулар деп аталатын арнайы пакеттердің көмегімен қамтамасыз етіледі.

Коммутациялық жүйелердің маңызды сипаттамаларының бірі олардың тиімділігі болып табылады. Тиімділік көрсеткіштері ретінде экономикалық көрсеткішпен қатар өткізу қабілеті сияқты техникалық көрсеткіш де кеңінен қолданылады. Коммутациялық жүйенің өткізу қабілеті деп берілген қызмет көрсету сапасы кезінде қызмет көрсетілген коммутациялық жүктеме жүйесінің

қарқындылығы түсініледі. Коммутациялық жүйенің өткізу қабілеті жоғалтулар шамасына, коммутациялық жүйенің шығыстарына қосылған желі шоғырының сыйымдылығына, осы шығуларды біріктіру тәсіліне (схемасына), шақырулар ағынының класына, коммутациялық жүйенің құрылымына, қызмет көрсету ұзақтығын және қызмет көрсету тәртібін бөлуге байланысты. Шығын мөлшері коммутациялық жүйеге тұтастай немесе байланыстың әрбір бағыты үшін немесе әр санат көздері үшін нормаланады. Айналмалы бағыттармен каналдар коммутациясы (КК) ішкі жүйесін жобалаудың басты мақсаты ішкі желілерде қызмет көрсету сапасының көрсеткіштерін анықтайтын статистикалық параметрлерді (ықтимал сипаттамаларды) анықтау болып табылады.:

* Жиынтық жүктеменің шамалары мен сипаты (әрбір тармаққа түсетін немесе әрбір тармақ бойынша өткізілген);

• Әрбір тармақта жоғалту ықтималдығы;

• Әрбір бу тораптарының арасындағы жоғалтулар ықтималдығы, сондай-ақ бұл шығындарды жолдар мен ішкі желінің транзиттік тораптары бойынша бөлу.

АТМ желісі ірі территориялық желіде және классикалық құрылымды болып келеді, соңғы станциялар дара арналар мен төменгі дәрежедегі коммутаторлардың қосылуы кезінде, яғни өз кезінде жоғарғы дәрежедегі коммутаторлармен қосылғанда. АТМ коммутаторлары виртуалды арнаның техника негізгі маршруттық трафикке арналған соңғы түйіндерде 20-байттық адрестермен пайдаланылады. Жеке АТМ желілері үшін маршруттың кестесін автоматты түрде құра алатын коммутаторлар көмегімен PNNI (Private NNI) маршруттың протоколдары анықталды. АТМ желісінің жариялануында маршрут кестесі администраторлардың қолымен құрыла алады, X.25 желісіндегі немесе PNNI протоколына сүйене алады[6].

Пакеттер коммутациясы виртуалды арналардың (Virtual Channel Identifier,VCI) идентификаторы негізінде жүргізіледі, оны құруда қосуға тағайындалған және қосылуының айырылуында жойылады[7]. АТМ түйінінің соңғы адресі иерархиялық құрылымы бар виртуалды арна негізінде салынады және қызметтердің жабдықтаушыларының желілеріне, елдердің кодтарына сәйкес префикстер қолданылады және CIDR технологиясының агрегаттандырылған IP адрестерінің сәйкес қолданылуында маршруттың сұраныстарды құрып қосуды жеңілдетеді.

Виртуалды қосулар тұрақты (Permanent Virtual Circuit, PVC) және коммутациялық (Switched Virtual, SVC) бола алады. Коммутация тездетілуі үшін үлкен желіде виртуалды жолдың ұғымы қолданылады – Virtual Path виртуалды арнаны біріктіреді, АТМ желісі бар жалпы маршрут шығулар арасымен және ақырғы түйіндер немесе UNI (User Network Interfase) стандарты төменгі деңгейдегі коммутаторлармен бірге АТМ ақырғы бірнеше екі коммутатор желісімен қосылуы жалпы бөлім маршрутының арасындағы станциясы анықталады.

АТМ технологиясында келесі негізгі сандық параметр жатады[5,7]:

- Pesk Cell Rate (PCR) - мәліметті берудің максималды жылдамдығы;
- Sustained Cell Rate (SCR) - мәліметті берудің минималды жылдамдығы;
- Minimum Cell Rate (MCR) - пульсацияның максималды мөлшері;
- Cell Loss Ratio (CLR) -жоғалған ұяшықтың үлесі;
- Cell Transfer Delay (CTD) - ұяшық берілуінің кешігуі;

- Cell Delay Variation (CDV) - кешіккен ұяшықтың вариациясы

Жылдамдық параметрлері ұяшықта секундқа өлшенеді, пульсацияның максималды мөлшері - ұяшықта, ал уақытша параметрлері – секундте. Пульсацияның максималды мөлшері егер орташа жылдамдық берілсе PCR максималды жылдамдықпен беріле алатын ұсыныстың ұяшық санын береді. Виртуалды қосылу дуплексті болып келсе, онда әрбір бағыт үшін қосылуға параметрлердің әртүрлі мағыналары беріле алады[8].

ATM технологиясында ”қызмет ету сапасы” термин түсіндіруіне дәстүрлі түрде атауын – QoS қабылданған[6,7]. Әдетте трафиктің қызмет ету сапасы қабілеттіліктің жіберілу параметрлерімен сипатталады (мұнда бұл RCR, SCR, MCR, MBS), кешігу пакеттерінің параметрімен (CTD және CDV), сонымен қатар пакеттің берілу сенімділігінің параметрлерімен (CLR). ATM-да қабілеттіліктің жіберілу сипаттамасы трафиктің параметрлері деп аталады және оларды QoS қызмет көрсету сапасының параметрлер санына қоспайды, бірақ олар солай болып табылады. ATM-да QoS параметрлері тек CTP, CDV және CLR параметрлері болып табылады. Желі қызмет көрсетудің осындай деңгейін, талап мағыналарын және параметрлер трафигі, ұяшық кешігуін, ұяшық жоғалуының үлесін қамсыздандыруға талаптанады.

Қорытындылай келе, "Цифрлық Жібек жолын іске асыру" бағыты бойынша Министрлік мемлекеттік-жеке меншік әріптестік тетігі арқылы "талшықты-оптикалық байланыс желілері технологиясы бойынша ауылдық елді мекендерді кең жолақты қолжетімділікпен қамтамасыз ету"жобасын іске асыру мақсатында жалпы 1249 ауылда кең жолақты байланыс желісін қамтамасыз ету жоспарлануына байланысты Қазақстандағы қолданыстағы кеңжолақты сандық желілермен мобильді сымсыз желілер қолдану пайызы, сонымен бірге асинхронды желінің ерекшеліктері зерттеліп, анықталды.

Қолданылған әдебиеттер

[1] «www.primeminister.kz».

[2] http://mic.gov.kz

[3] Кузьменко, Н.Г. Компьютерные сети и сетевые технологии / Н.Г. Кузьменко. - СПб.: Наука и техника, 2013. - 368 б.

[4] Куроуз, Д. Компьютерные сети. Нисходящий подход / Д. Куроуз, К. Росс. - М.: Эксмо, 2016. - 912 б.

[5] Боккер П. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. - М.: Радио и связь, - 1991. - 304 б.

[6] Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями, - М.: Мир, - 1979. - 600 б.

[7] Максимов, Н.В. Компьютерные сети: Орта профессионалды білім беру орындарының студенттеріне арналған оқу құралы / Н.В. Максимов, И.И. Попов. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 464 б.

[8] Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер.. - СПб.: Питер, 2013. - 944 б.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

МЕТОД СОСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА ПО ЕГО ОПЕРАТОРНОМУ ВЫРАЖЕНИЮ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Адамбаев М.Д.[1], Вуйцик В.[2], Джулаева Ж.Т.[1], Калабаева А.Е.[1]
e-mail: adambaev_m@mail.ru, waldemar.wojcik@pollub.pl , zhazj@mail.ru, a.kalabaeva@list.ru
[1]Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан
[2]Люблинский технологический университет, Институт электроники и информационных технологий, Люблин, Польша

Аннотация. *Разработан метод, позволяющий по известному операторному выражению объекта, получить его эквивалентную адекватную структурную схему. Делением всех слагаемых числителя и знаменателя операторного выражения на член знаменателя с максимальной степенью ($a_0 s^n$) достигается замена всех дифференцирующих звеньев на интегрирующие. Полученнное таким образом выражение преобразуется в структурную схему. Дан пример структурного моделирования сложного промышленного объекта.*

Введение

Разработан метод, позволяющий получить эквивалентную адекватную структурную схему объекта по известному операторному выражению. Разделение всех членов числителя и знаменателя оператора выражения на член в знаменателе с максимальной степенью (a0sn) означает замену всех дифференцирующих ссылок на интегратор. Полученное выражение преобразуется в блок-схему. Приведен пример структурного моделирования сложного промышленного объекта.

В литературе хорошо описан и нашел широкое использование метод структурного моделирования (моделирование объекта по его известной структурной схеме). В этом случае известна структурная схема, которая обычно представлена соединением типовых динамических звеньев с известными передаточными функциями. Для моделирования подготавливается рабочая схема набора исследуемого объекта на моделирующей установке, устанавливаются на модели необходимые коэффициенты, подключается контрольно-измерительная аппаратура и т.д.

При идентификации сложных объектов исследования выявить его структурную схему и получить его адекватную математическую модель теоретическими методами не представляется возможным. В связи с этим для идентификации (определение динамической структуры и параметров) в последнее время разработаны новые методы, основанные на обработке экспериментальных данных [1].

По данным активного эксперимента получает разгонные характеристики (реакцию объекта на ступенчатое входные воздействие), которая для устойчивых линейных объектов имеют один из следующих видов: экспоненциальный, S-

образный или колебательный. Форма кривой разгона определяет структуру объекта, а его динамические параметры (коэффициенты передачи, постоянные времени, время запаздывания) находят обработкой кривой разгона специальными математическими приемами [2].

Результаты пассивного эксперимента (случайные реализации переменных объекта) позволяют получить адекватную математическую модель на базе решения интегрального уравнения Винера-Хопфа в частотной или временной областях, с использованием операционных (решающих) усилителей [2].

Обычно обработка результатов активного и пассивного экспериментов с применением вышеуказанных методов позволяет получить математическую модель объекта в виде операторного выражения вида:

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n} = \frac{F_1(s)}{F_2(s)}, \quad (1)$$

где:

F_1(s)-полином числителя с известными коэффициентами b_j(j=0,…,m);

F_2(s)-полином знаменателя с известными коэффициентами a_i(i=0,…,n),

n-порядок операторного выражения;

S – оператор Лапласа.

Моделирование исследуемого объекта, полученного в виде операторного выражения (1) невозможно осуществить так как оно практически сплошь состоит из дифференцирующих звеньев, которые не моделируются из-за их незащищённости от всех видов электромагнитных помех.

Ниже предлагается метод, позволяющий создать абсолютно эквивалентную структурную схему для операторного выражения (1). Затем для исследования объекта можно применить метод структурного моделирования, который нашел широкое применение в научных исследованиях.

Для того, чтобы избавиться от всех дифференцирующих звеньев необходимо разделить (1) на $a_0\ s^n$.

Для снижения объёма математических выкладок рассмотрим частный случай (1), когда m=3; n=4, то есть

$$\mathrm{W(s)}=\frac{b_0 s^3+b_1 s^2+b_2 s+b_3}{a_0 s^4+a_1 s^3+a_2 s^2+a_3 s+a_4}. \quad (2)$$

Разделив (2) на $a_0 s^4$, получим

$$\mathrm{W(s)}=\frac{\frac{b_0 s^3}{a_0 s^4}+\frac{b_1 s^2}{a_0 s^4}+\frac{b_2 s}{a_0 s^4}+\frac{b_3}{a_0 s^4}}{\frac{a_0 s^4}{a_0 s^4}+\frac{a_1 s^3}{a_0 s^4}+\frac{a_2 s^2}{a_0 s^4}+\frac{a_3 s}{a_0 s^4}+\frac{a_4}{a_0 s^4}} = \frac{\frac{1}{a_0}\left(\frac{b_0}{s}+\frac{b_1}{s^2}+\frac{b_2}{s^3}+\frac{b_3}{s^4}\right)}{1+\frac{1}{a_0}\left(\frac{a_1}{s}+\frac{a_2}{s^2}+\frac{a_3}{s^3}+\frac{a_4}{s^4}\right)} =$$

$$= \underbrace{\frac{1}{1+\frac{1}{a_0}\left(\frac{a_1}{s}+\frac{a_2}{s^2}+\frac{a_3}{s^3}+\frac{a_4}{s^4}\right)}}_{A} \cdot \underbrace{\frac{1}{a_0}\left(\frac{b_0}{s}+\frac{b_1}{s^2}+\frac{b_2}{s^3}+\frac{b_3}{s^4}\right)}_{B} = \mathrm{A \cdot B} \quad (3)$$

Рассмотрим вариант моделирования сомножителя А в выражении (3). Для этого рассмотрим структурную схему, представленную на рисунке 1, передаточная функция которая будет равна [3]:

$$W(s) = \frac{1}{1+W_0(s)} \tag{4}$$

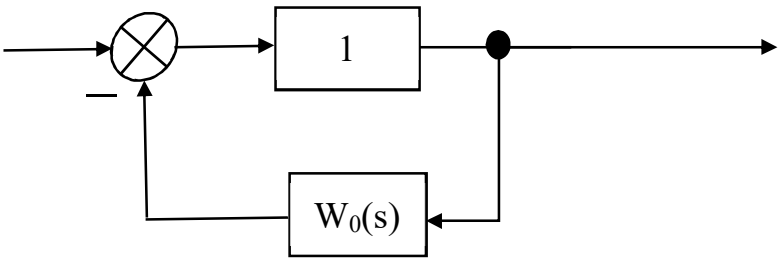


Рисунок 1 Структурная схема

Из сравнения выражения (4) и сомножителя А в выражении (3) можно сделать вывод о том, что структурная схема сомножителя А будет соответствовать структурной схеме, представленной на рисунке 1 при выполнении условия:

$$W_0(s) = \frac{1}{a_0}\left(\frac{a_1}{s} + \frac{a_2}{s^2} + \frac{a_3}{s^3} + \frac{a_4}{s^4}\right). \tag{5}$$

Реализация структурной схемы сомножителя А с соблюдением условия (5) представлена на рисунке 2.

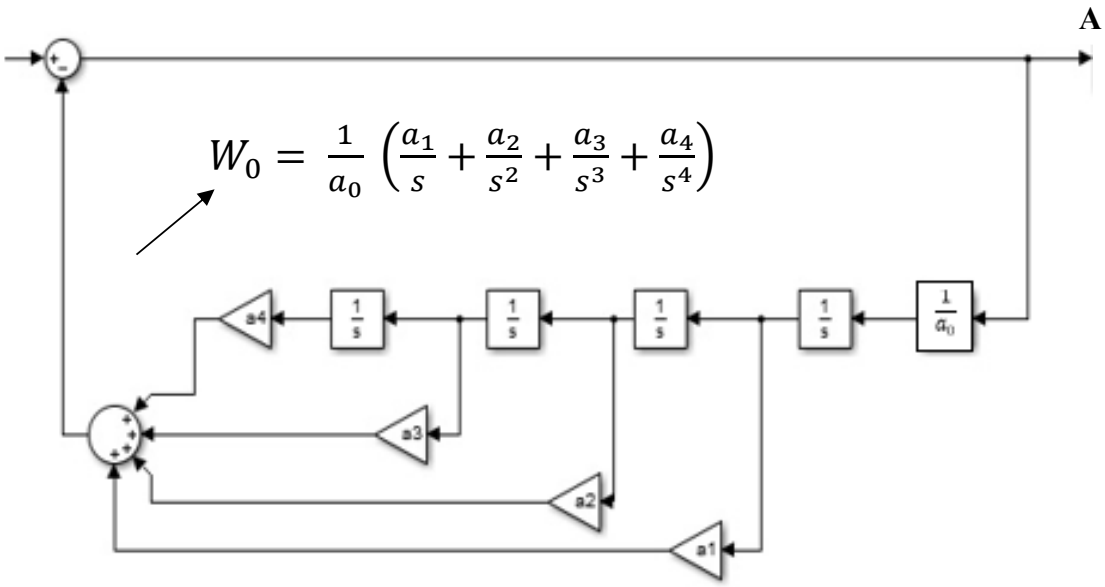


Рисунок 2 Структурная схема сомножителя А

Составим структурную схему сомножителя B из выражения (3), которая дана на рисунке 3.

Так как сомножители A и B решаются совместно, то структурные схемы сомножителей A и B необходимо объединить в одну схему и их выходные сигналы перемножить при помощи блока деления-умножения (БДУ). Тогда окончательная структурная схема выражения (2) будет иметь вид, данный на рисунке 4.

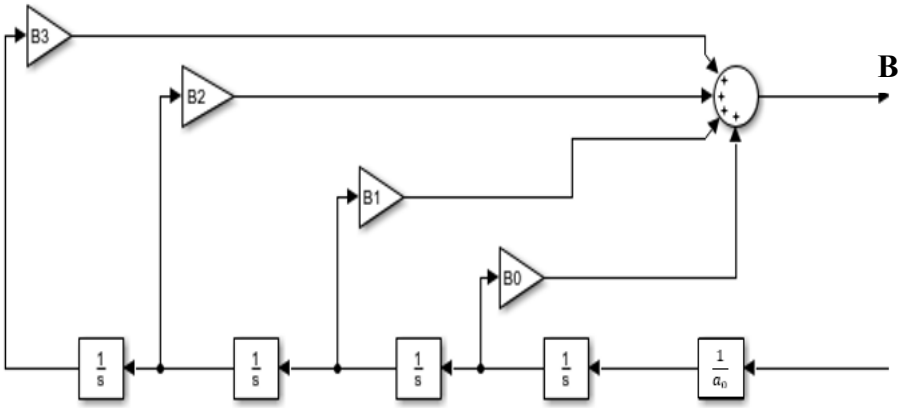


Рисунок 3 Структурная схема сомножителя B

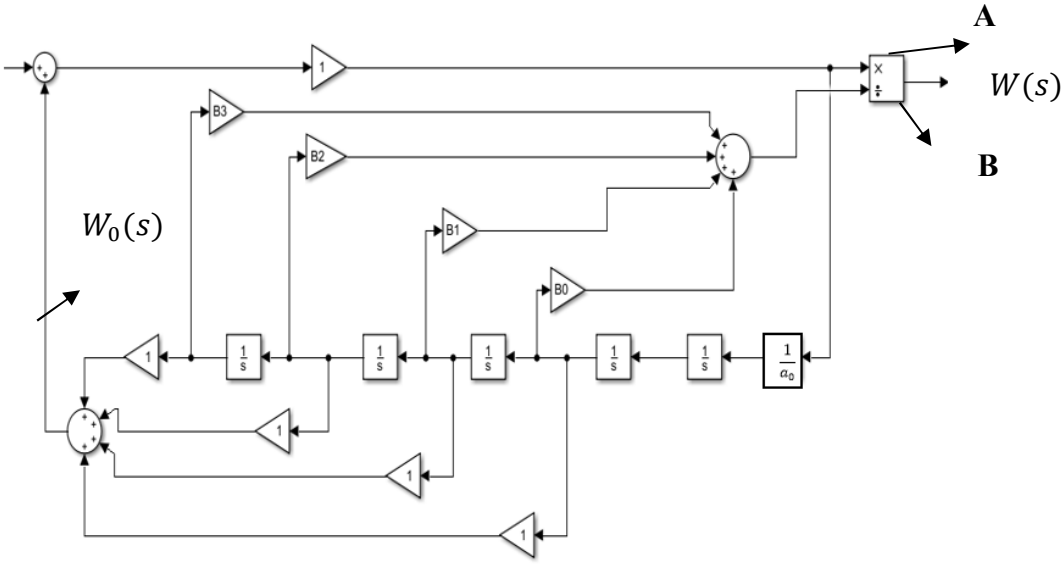


Рисунок 4 Структурная схема операторного выражения (2)

Таким образом, операторное выражение (2) преобразуется в эквивалентную структурную схему (рис. 4), которую можно легко набрать на моделирующей установке и использовать метод структурного моделирования для полного исследования рассматриваемого объекта.

Благодаря рассмотренному выше методу удалось получить структурную схему процесса сухого двухстадиального измельчения с использованием в качестве

основных агрегатов двухкамерных шаровых мельниц типа «Полизиус» [4]. Ниже приводятся результаты моделирования этого процесса, которые позволили разработать высокоэффективные системы управления этим сложным технологическим процессом.

Для определения параметров процесса двухстадиального измельчения, оценки динамического влияния по перекрестным каналам связи объекта в условиях постоянно изменяющихся возмущений (например, размалываемостъ руды, которая определяет величину циркулирующей нагрузки, следовательно, непосредственно влияет на количество перетекаемого в объекте материала, что в свою очередь резко влияет на динамические свойства процесса), был сделан анализ структурной схемы процесса двухстадиального сухого измельчения на операционных (решающих) усилителях.

Передаточные функции всех элементов получены на основании обработки экспериментальных кривых переходных процессов объекта при ступенчатом возмущении по исходному питанию и входному питанию второй стадии. Передаточные функции элементов системы имеют вид:

$W_n(s) = K_n = 1$ - передаточная функция (ПФ) тарельчатого питателя;

$W_2(s) = \dfrac{e^{-4,9s}}{1 + 5.1s}$ - ПФ первой стадии;

$W_2(s) = \dfrac{e^{-2,9s}}{1 + 3s}$ - ПФ второй стадии;

$W_э(s) = e^{-1s}$ - ПФ ковшевого элеватора;

$W_ш^0(s) = 0,5$ - ПФ шибера до сепараторов;

$W_c^S(s) = 0,5 \div 0,9$ - ПФ сепараторов по каналу: общий вход-выход крупки;

$W_c^г(s) = 0,5 \div 0,1$ - ПФ сепараторов по каналу: общий вход-выход готовой продукции;

$W_ш^I(s) = 0 \div 1$ - ПФ шибера в первую "камеру;

$W_ш^{II}(s) = 1 \div 0$ - ПФ во вторую камеру;

$W_{T_1}(s) = W_{T_2}(s) = W_{T_3}(s) = e^{-0,5s}$ - ПФ трубопроводов от сепараторов до входов рабочих камер шаровой мельницы.

По передаточным функциям составлена структурная схема. Введенные обозначения звеньев системы с вписанными передаточными функциями этих элементов придают схеме наглядность, не требующую описания ее работы.

На рисунке 5 приведена линейная модель исследуемого объекта для набора ее на операционных усилителях. На схеме указаны X_i - максимально, возможные значения переменных, необходимые для расчета масштабных коэффициентов α_i. На рисунке 6 дана схема количественного распределения материальных потоков для установившегося режима. Причем принято: вход системы равен выходу системы ($Q_{вх} = Q_{вых} = 100$ у.е.), максимальная циркулирующая нагрузка до 400%. Для моделирования объекта необходимо иметь:

- потенциометров - 23 шт.;
- интеграторов - 8 шт.;
- сумматоров - 2 шт.;
- инверторов - 2 шт.;
- блоков постоянного запаздывания (БПЗ) - 5 шт.;
- масштабных элементов - 11 шт.

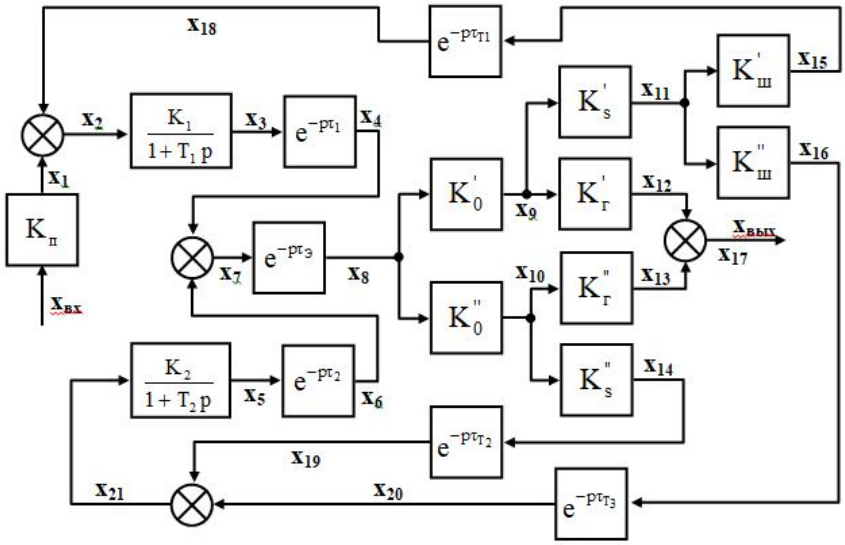


Рисунок 5 Линейная модель объекта (x_i - максимальные значения Параметров)

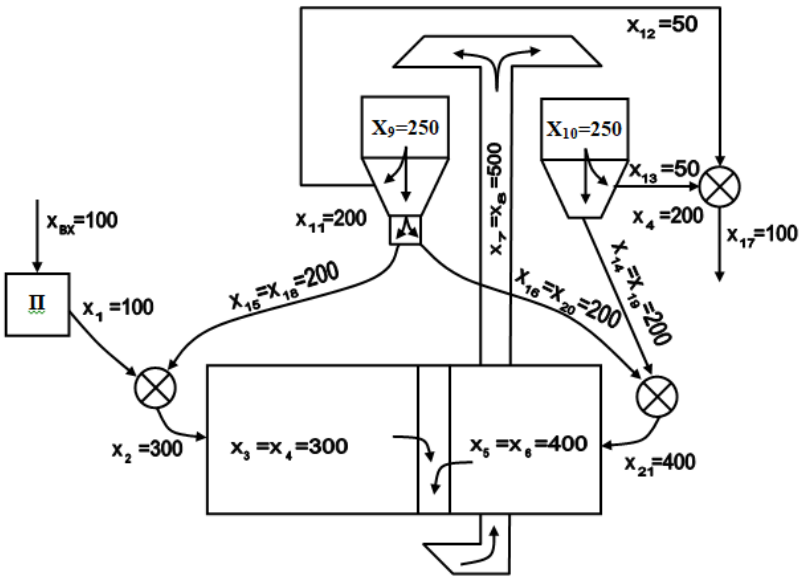


Рисунок 6 Максимально возможнее количественное распределение материальных потоков при S=400%

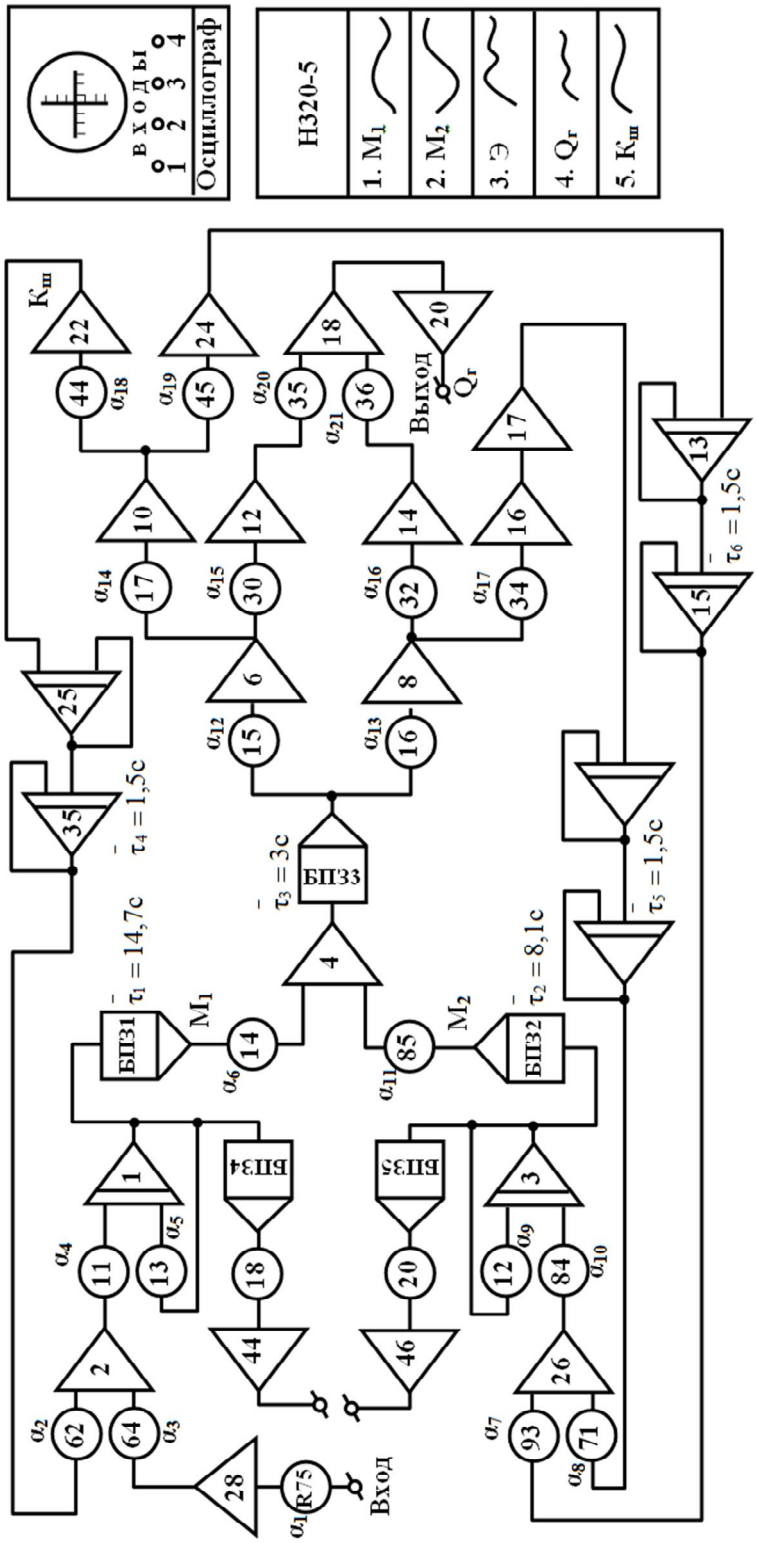


Рисунок 7 Рабочая схема набора линейной модели двухстадиального измельчения

На рисунке 7 приведена рабочая схема набора линейной модели объекта. Все потенциометры, кроме α_1, являются автоматическими и набирается при помощи схемы компенсации и трехразрядного селектора. Обозначение последних на наборном поле соответствует AI-A90. α_1- собран на ручном потенциометре Р-76. Входной сигнал ограничен двадцатью вольтами. Колебания циркулирующей нагрузки в системе предусмотрены в пределах 0÷400% от величины исходного питания. Максимальные значения переменных имеют в точках 7 и 8, значения которых ограничены 100 вольтами. Номера элементов набранной модели представлены на рабочей схеме набора внутри соответствующих элементов схемы. Масштабные элементы и сумматоры имеют четные, а интеграторы - нечетные обозначения.

К модели через селектор подключается четырехлучевой осциллограф, позволяющий наблюдать изменения режимов во всех точках модели при изменениях значений варьируемых коэффициентов. Запись кривых производится быстродействующим самопишущим прибором типа Н320-5 через специальную приставку.

Транспортные задаздавания реализуются на блоках постоянного запаздываяия типа БПЗ-2I с автономными блоками литания типа УЭСВ-I.

После отладки модели были записаны следующие кривые:

1. На выходе камеры крупного помола (после БПЗ-I).
2. На выходе камеры мелкого помола (после БПЗ-2).
3. На выходе ковшевого элеватора (после БПЗ-3).
4. На ваходе модели (после 20 инвертора).

На рисунке 8 приведены кривые изменения контролируемых параметров при ступенчатом возмущении по исходному питанию. При снятии кривых переходного процесса принимались различные коэффициенты, характеризующие измельчаемость руд (количество образования циркулкрующей нагрузки). Кривае приведены для двух случаев K_s = 0,5; 0,7.

Переходные характеристики камер крупного (IК) и мелкого (IIК) помола имеют вид экспоненты с разными коэффициентами усиления (К) и постоянными времени (Т). Для первой камеры машинная постоянная времени $\overline{T}_1$ = 16 сек. при чистом транспортном запаздывании $\bar{\tau}_1$ = 15 сек. Вторая камера при возмущении по исходному питанию (перекрестный канал для этой камеры) имеет значительно большее $\overline{T}_2$ = 24-25 сек. и $\bar{\tau}_2$ = 22-23 сек. Козффициенты усиления и постоянные времени камер при возмущении исходным питанием зависят от величины K_s и $K_ш$.

Кривая изменения загрузки ковшевого элеватора Э на участке "*б-в*" имеет излом. Участок "*а-б*" этой кривой определяется изменением загрузки первой камеры, участок "*в-г*" характеризует влияние второй камеры (см.рисунок 8). Кривая изменения количества готового продукта пропорциональна загрузке элеватора, поэтому она следует за кривой єлеватора с постоянным запаздыванием 3 сек. (влияние БПЗ-3).

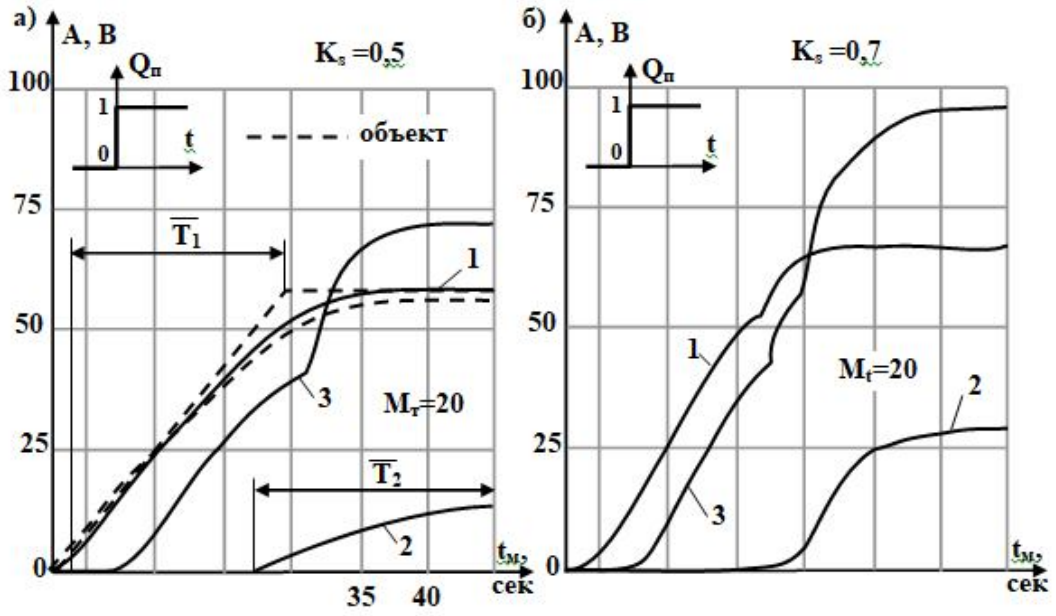


Рисунок 8 Переходные процессы,полученные на модели при возмущении исходным питанием (1,2,3 - кривые загрузки первой, второй камер и элеватора)

На рисунке 9 показаны эти же кривые, но для более твердых руд, образующих большое количество песков(K_s= 0,7). Как видно из рисунка 8, кривые отличаются по форме от предыдущих. Резкое увеличение песков влияет на форму кривых переходного процесса первой и второй камер.

Начальная часть этих кривых определяется основным возмущением - исходным питанием, причем от этого возмущения кривая первой камеры возрастает до 70% своего установившегося значения, а вторая камера-только до 10% своего установившегося значения. Вторая часть кривых определяется обратной положительной связью, т.е. влиянием песковой нагрузки. Это дополнительное возмущение в большей степени влияет на величину загрузки второй камеры (85÷90%) и в меньшей степени-на нагрузку первой камеры (25÷30%) от установившихся значений этих параметров.

Кривая загрузки элеватора Э имеет два излома, определяемые основным и дополнительным возмущениями. Коэффициенты усиления и постоянные времени обеих камер для случая Ks =0,7 значительно возросли по сравнению с Ks = 0,5.

На рисунке 9 приведены кривые при ступенчатом возмущении количественным распределением песковой нагрузки между камерами ($К_ш$=var). На рисунке 8 даны кривые для случая K_s = 0,5. Положительное возмущение на первую камеру соответствует такому же по амплитуде отрицательному возмущению на вторую камеру. Кривые переходного процесса имеют приблизительно одинаковый вид и K, T, τ. Кривая элеватора отражает суммарный сигнал.

Провал на начальном участке кривой загрузки элеватора Э определяется суммированием двух экспонент с различными транспортными запаздываниями.

На рисунке 9 даны аналогичные кривые для случая Ks = 0,7. Влияние основных возмущений по песковой нагрузке и дополнительных за счет обратных связей при различных транспортных запаздываниях обусловили затухающий колебательный процесс на ковшевом элеваторе.

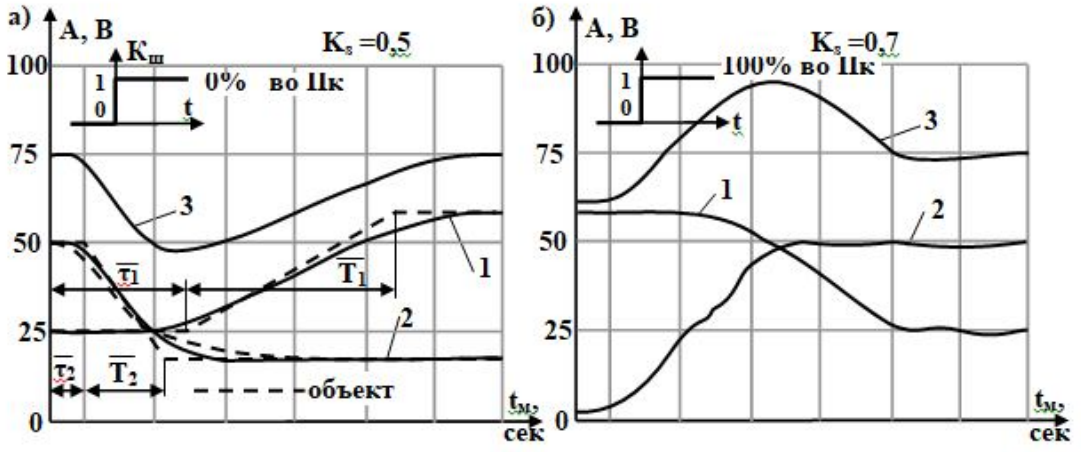


Рисунок 9 Переходные процессы, полученные на модели при возмущении песковой нагрузкой (1,2,3 – кривые загрузки камер и элеватора)

Таким образом, изменение величины исходного питания определяет уровень загрузки камеры крупного помола и влияет на уровень загрузки камеры мелкого помола по перекрестному каналу внутренней технологической связи. Для мягких руд ($K_s = 0,5$) обратные связи не оказывают существенного влияния на динамические режимы второй камеры, и, наоборот, для твердых руд ($K_s = 0,7$) циркулирующие потоки создают дополнительные возмущения, которые резко влияют на динамические параметры системы. К и Т камер мельницы изменяются пропорционально размалываемости руд (K_s). Изменение количественного распределения песков резко влияет на уровень загрузки обеих камер. При возмущении исходным питанием влияние этого возмущения на уровень загрузки камеры мелкого помола по перекрестному каналу связи носит плавный монотонный характер с большой постоянной времени (сказывается фильтрующие свойства объекта), поэтому система управления загрузкой камеры мелкого помола должна “спокойно пережевать” эти возмущения без применения каких-либо компенсирующих устройств. При управлении уровнем загрузки камеры мелкого помола перераспределением величины циркулирующей нагрузки, поступающей в эту камеру, перекрестная связь, влияющая на уровень загрузки камеры крупного помола, является сильной и носит резкоколебательный характер большой амплитуды.

Или, другими словами, система управления загрузкой камеры крупного помола будет работать в тяжелых условиях, изменяя величину питания в очень широких пределах, чтобы удержать регулируемую величину на заданном уровне, что будет сопряжено с большими колебаниями уровня загрузки камеры крупного

помола, а в некоторых случаях (при больших значениях K_s) может привести и к потере управляемости. Выходом из данной ситуации может явиться разработка специальной системы управления, позволяющей скомпенсировать влияние сильной перекрестной связи.

Список литературы

1. Адамбаев М.Д. Повышение эффективности процесса сухого измельчания. Идентификация и автоматизация. Saarbucken, Deutshland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, - 237 с.
2. Адамбаев М.Д. Определение динамической структуры и параметров промышленных объектов управления: Научное издание (монография). – Алматы: «TST – Company», 2010 – 259 с.
3. Балакиров В.С., Дудников Е.Т., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. - М.: Энергия, 1987-232с.
4. Адамбаев М.Д. Автоматическое управление процессами сухой рудоподготовки. Монография. – Алматы: Комплекс, 2013 – 163 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНО УДАЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Алмасов Н.Ж., Ахметов Б.С.
e-mail: nurbek_75@mail.ru
Университет «Туран»

***Аннотация**: Современные мониторинговые и управляющие системы территориально удаленными объектами все чаще используют каналы связи на основе GSM. Применение сотовой связи в мониторинговых и управляющих системах обуславливается широким охватом территорий, на которых расположены производственные объекты, требующие непрерывного мониторинга и управления. В тоже время во многих отраслях промышленности имеется множество объектов, машин, оборудования, территориально распределенного и удаленного на значительные расстояния друг от друга, однако, требующего непрерывного мониторинга технологических параметров и управления.*

С каждым годом появляется всё больше требований к надежности и удобству использования дата-центров. Однако этого нельзя добиться, если сосредоточиться только на резервных копиях систем и качестве отдельных элементов. На рынке понимают эту простую мысль, поэтому компании всё чаще внедряют единую систему мониторинга. Если коротко, она следит за инженерной инфраструктурой ЦОД и помогает избежать аварийных ситуаций.

Основа центра обработки данных состоит из трех составляющих:

- Телекоммуникационная система принимает и передаёт данные между ЦОД и его пользователями, а также связывает элементы центра;
- Техническая архитектура — это серверы доступа, серверы приложений, серверы СУБД, системы хранения данных. Она отвечает за функционирование бизнес-приложений и позволяет пользователям получить к ним доступ.
- Инженерная инфраструктура позволяет системам исправно работать, то есть поддерживать для них оптимальные условия.

Инженерная инфраструктура дата-центров также делится на две подсистемы:

- функционирования;
- безопасности.

Первая включает системы общего, гарантированного и бесперебойного электроснабжения, технологического кондиционирования, монтажные конструктивы. В подсистему безопасности входят охранно-пожарная сигнализация, системы автономного газового пожаротушения, видеонаблюдения, контроля и управления доступом.

Для уверенности, что все системы работают в штатном режиме, необходим постоянный контроль, который и даёт мониторинг.

Структурно система состоит из множества интеллектуальных информационно-управляющих блоков, устанавливаемых на территориально удаленных объектах, и центров сбора, обработки и хранения информации. Функциональные возможности системы приведены на рисунке 1.

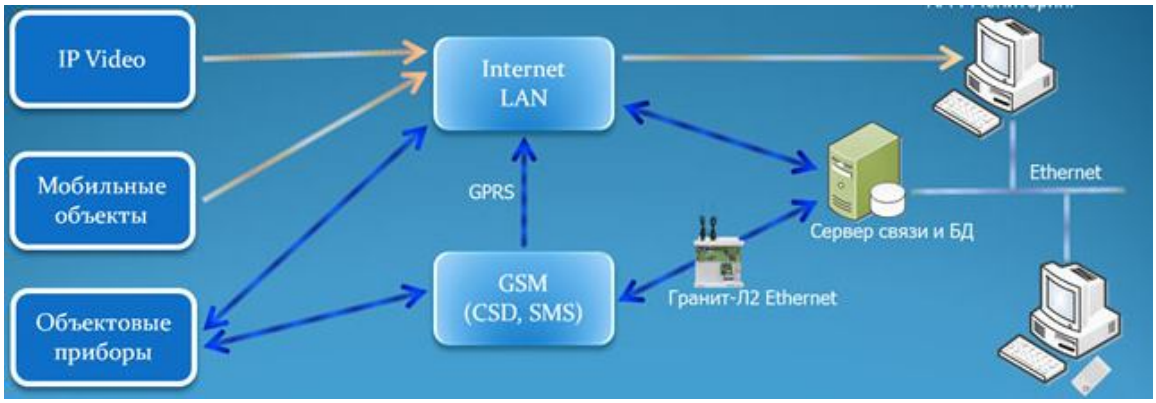


Рисунок 1 - Функциональные возможности системы

Требования к параметрам коммутируемых каналов связи

1. Период контроля канала связи (прибор – коммуникатор – концентратор – компьютер – квитанция) от 12 мин. до 24 час.
2. Время доставки извещения (дозвон + передача извещения + получение квитанции) в расчете на передачу одного извещения 10 – 25 секунд
3. Время занятия канала (передача извещения + получение квитанции) при передаче одного извещения 3 – 7 секунд

4. Количество байт, передаваемых по каналу связи при доставке извещений от приборов на ПЦН и команд приборам от ПЦН 20 – 40
5. Количество извещений, передаваемых за один сеанс связи (за один дозвон):
6. Объектовый коммуникатор GT (как по GSM каналу, так и по ГТС), GSM-канал (режим передачи DATA), ГТС-канал (режим передачи DTMF) до 15
7. Объектовый коммуникатор GSM (режим передачи DTMF)
8. Объектовый коммуникатор GSM обновленный (режим передачи DATA) до 15
9. Объектовый коммуникатор MAD
10. Рекомендуемое количество объектовых коммуникаторов, которые могут звонить на один модуль концентратора (в зависимости от интенсивности звонков) Гранит-Л, Гранит-Л2 (GSM или GT) до 40 – 60
11. Рекомендуемое количество объектовых коммуникаторов, которые могут звонить на один модуль концентратора (в зависимости от интенсивности звонков) Гранит-Л2 Ethernet (GT) до 80 – 90.

Требования к параметрам GPRS (универсальный коммуникатор GT)

1. Период контроля канала связи от 15 до 60 секунд
2. Время доставки извещения (протокол передачи UDP)2 – 5 секунд
3. Количество байт за извещение (события, тестовые, ответы на принятые команды) 70 – 80 байт
4. Емкость концентратора (IP- концентратор) (в зависимости от интервалов тестовых извещений) до 150 – 200

Требования к параметрам IP-каналов связи

1. Период контроля канала связи (коммуникатор – концентратор – компьютер) от 5 до 60 секунд
2. Время доставки извещения (протокол передачи UDP)1 – 2 секунды
3. Длина пакета при передаче извещений (события, тестовые, ответы на принятые команды) 70 – 80 байт
4. Рекомендуемое количество объектовых IP-коммуникаторов, которые могут отправлять извещения на один IP- концентратор (в зависимости от интервалов тестовых извещений) До 150 – 200

Требования к компьютеру для установки ПО АРМ

1. Процессор, не ниже 2 ГГц
2. Оперативная память, не менее 1 Гб
3. Свободное место на HDD, не менее 1 Гб
4. Видеокарта, не менее 8 Мб
5. Разрешение монитора, не менее 1024*768
6. Привод CD-ROM 1
7. Сетевая карта (протокол TCP/IP)1
8. Операционная система Windows XP (SP3) и выше
9. Для работы АРМ Мониторинг необходимо наличие на компьютере InternetExploer 8.0 и выше

Вывод

Таким образом, можно выдвинуть основные требования к перспективам развития систем централизованного мониторинга объектов:

1. Системы должны иметь модульную структуру с полным комплектом устройств, позволяющих обеспечивать работу по любым имеющимся на сегодняшний день каналам связи, возможность стыковки с уже существующими системами, а также сопряжения с различными типами аппаратуры, используемой для организации телефонной связи (новые электронные АТС, системы цифрового уплотнения, оптоволоконные каналы связи и т.п.). Все эти возможности должны быть реализованы на единой программно-аппаратной платформе.

2. Протоколы обмена, используемые для передачи тревожных и служебных извещений, должны быть защищены от несанкционированного вмешательства в работу системы с помощью специальных средств снятия и внесения ложной информации в каналы связи.

3. Информативность систем должна обеспечивать уровень мониторинга состояния объекта, максимально повышающий оперативность реагирования групп задержания.

4. При организации передачи по каналам с коллективным доступом (канал цифровой передачи Ethernet (TCP/IP) каналы операторов сотовой связи (GSM-канал), а также информаторные каналы (автодозвон) системы должны обеспечивать дублирование (или резервирование) данных каналов.

Такая стратегия создания и развития систем централизованного наблюдения позволит решать не только задачи профилактики имущественных преступлений, но и в полной мере обеспечит реализацию государственной политики в сфере антитеррористической и противокриминальной защиты объектов и имущества.

Литература

1. А.Г. Зайцев, Направления развития технических средств и систем охраны в современных условиях - https://algoritm.org/arch/arch.php?id=64&a=1358 (от 13.03.2019г.)

2. Технический регламент РК «Требования к безопасности пожарной техники для защиты объектов», Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 23 июня 2017 года № 438 - https://чс-ник.kz/pozharnaya-bezopasnost-v-organizatsii/item/872-tekhnicheskij-reglament-rk-trebovaniya-k-bezopasnosti-pozharnoj-tekhniki-dlya-zashchity-ob-ektov (от 10.03.2019г.)

3. СН РК В 2.02.11-2002г. «Нормы проектирования зданий и сооружений системами автоматической пожарной сигнализации, пожаротушения и оповещения»

4. СНиП 2.02-2003г. «Пожарная автоматика зданий и сооружений»

5. Коротких В. Е. Современные средства технической безопасности / В.Е. Коротких, О.С. Киселев. — Казань : Новое знание, 2003.

6. А. В. Шлыкова, Специальная техника, применяемая при совершении преступлений, Журнал Наука. Общество. Государство, 2014г.

7. Гончарок М. Х., Крюков Ю. С. Построение системы защиты информации в цифровых АТС и выбор класса защищенности // Защита информации. Конфидент - 2004 № 2. - с. 2-7.

8. Карякин В.Л. Цифровое телевидение, Учебное пособие для ВУЗов, 2013.
9. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. пособие Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. (2009 г).
10. Приёмно-передающие устройства электронных систем безопасности / Кирюхина Т.А., Членов А.Н., Буцынская Т.А., Шакирова А.Ф. М.: Институт электронных систем безопасности, 2010. 264 с.

ПОСТРОЕНИЕ ЯЗЫКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Амиргалиев Е.Н., Куанышбай Д., Шойынбек А.
e-mail: ed_amir@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

***Аннотация**: В статье проводится разработка языковой модели казахского языка на основе рекуррентных нейронных сетей (RNN). Были проведены сравнении двух нейронных сетей, сети долгой краткосрочной памяти (Long-Short-Term memory) и двунаправленный долгой краткосрочной памяти (Bidirectional Long-Short-Term memory). Текстовые данные были собраны с известной казахской книги "Абай жолы" и были обработаны с помощью вручную написанных скриптов на языке питон. В результате обработки получилось последовательность из 51 слов (50 для входа, 1 для выхода) и таких последовательностей собралось в 200 000 линии. Алгоритм для тренировки языковой модели был использован язык "Tensorflow" и библиотека "Keras". Тренировка модели была запущена с помощью облачного сервиса «Google Colaboratory» и тренировалась 6-7 часов. Сравнивая результаты двух нейронных сетей (LSTM и BiLSTM), был сделан вывод что нейронная сеть с двунаправленный долгой краткосрочной памяти наиболее оптимален, так как имеет лучший показатель с точностью 73.71% и с частотой ошибок в словах 1.32, в то время как сеть с долгой краткосрочной памяти показал точность в 59.43, и частота ошибок в словах в 1.70.*

***Ключевые слова:** языковая модель, нейронные сети, сеть с долгосрочной памятью, обработка естественного языка*

1. Введение

Основная задача языковой модели - выяснить, какова вероятность конкретной последовательности слов в каком-то контексте. Он широко используется в таких областях, как машинный перевод, распознавание рукописного ввода [1], исправление орфографии [2], аугментативное общение [3] и задачи обработки естественного языка (генерация естественного языка, сходство слов) [4, 5, 6]. В распознавании речи, для повышения точности и общей производительности вашей модели, может быть применен независимо обученный язык.

Недавние исследователи в области обработки естественного языка использовали нейронные вероятностные языковые модели вместо основанных на правилах языковых моделей, потому что он может обрабатывать набор данных с большим словарным запасом, тогда как основанные на правилах языковые модели очень склонны к ошибкам, когда дело касается больших наборов данных.

Для создания языковых моделей требуется большое количество последовательностей слов. Следовательно, языковая модель должна иметь возможность назначать вероятности не только для небольшого количества слов, но и для всего предложения. В настоящее время существует множество предварительно обработанных больших массивов наборов данных для создания языковых моделей. Даже если для некоторых языков не хватает данных, можно создать наборы данных для языковой модели, поскольку текстовые данные легко доступны. Шаг предварительной обработки требует только удаления слов, которые никак не влияют на весь контекст в целом. Набор данных может быть собран из различных источников, таких как новостные порталы, статьи, книги, которые в большинстве своем близки к повседневно используемым словам.

2. Сеть с долгой краткосрочной памятью

Сети с долгой краткосрочной памятью, обычно называемые просто «LSTM», представляют собой особый тип рекуррентных нейронных сетей, способный изучать долгосрочные зависимости. Они были представлены Hochreiter & Schmidhuber [7], и были усовершенствованы и популяризированы многими людьми в последующих работах.

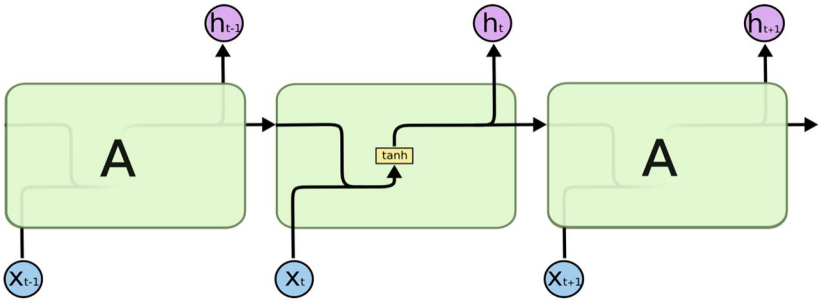


Рис 1. Повторяющийся модуль в стандартном RNN содержит один слой

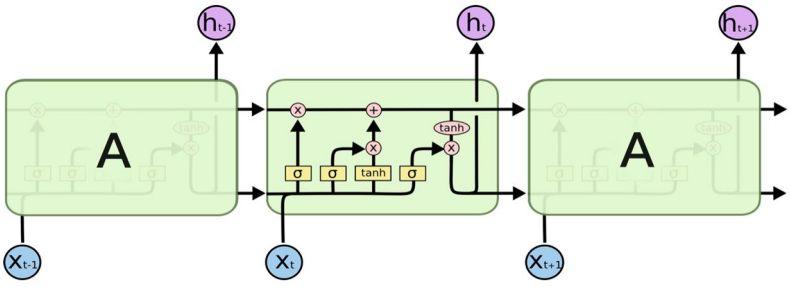


Рис 2. Повторяющийся модуль в LSTM содержит четыре взаимодействующих слоя

Все рекуррентные нейронные сети имеют форму цепочки повторяющихся модулей нейронной сети. В стандартных RNN этот повторяющийся модуль имеет очень простую структуру как один слой *tanh* (Рисунок 1).

LSTM также имеют эту цепь, но повторяющийся модуль имеет другую структуру. Вместо одного слоя нейронной сети существует четыре, взаимодействующих совершенно особым образом (Рисунок 2).

Ключом к LSTM является состояние ячейки, горизонтальная линия, проходящая через верх диаграммы (Рисунок 1,2).

Состояние ячейки напоминает конвейерную ленту. Он идет прямо по всей цепочке с небольшими линейными взаимодействиями. Для информации очень просто течь по ней без изменений.

LSTM имеет возможность удалять или добавлять информацию о состоянии ячейки, тщательно регулируемую структурами, называемыми воротами(gates).

Ворота - это возможность, по желанию, пропустить информацию. Они состоят из слоя сигмовидной нейронной сети и операции точечного умножения. Сигмовидный слой выводит числа от нуля до единицы, описывающие, сколько каждого компонента должно быть пропущено. Нулевое значение означает «не пропускать», а значение 1 означает «пропустить все». У LSTM есть три из этих ворот, чтобы защитить и управлять состоянием ячейки.

2.1. Пошаговое прохождение LSTM

Первый шаг в нашем LSTM - решить, какую информацию мы собираемся выбросить из состояния ячейки. Это решение принимается сигмовидным уровнем, называемым «уровнем забытых ворот» (forget gate layer). Он просматривает h_{t-1} и x_t и выводит число от 0 до 1 для каждого числа в состоянии ячейки C_{t-1}. 1 представляет «полностью сохранить», а 0 представляет «полностью избавиться».

Давайте вернемся к нашему примеру языковой модели, пытающейся предсказать следующее слово на основе всех предыдущих. В такой проблеме состояние ячейки может включать род данного субъекта, так что можно использовать правильные местоимения. Когда мы видим новый субъект, мы хотим забыть род старого субъекта.

$$f_t = \sigma(W_t * [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

Следующий шаг - решить, какую новую информацию мы будем хранить в состоянии ячейки. Это состоит из двух частей. Во-первых, сигмовидный слой, называемый «входным слоем затвора» (input gate layer), решает, какие значения мы будем обновлять. Затем слой *tanh* создает вектор новых значений-кандидатов $\widetilde{C_t}$, которые можно добавить в статус (state). На следующем шаге мы скомбинируем эти два, чтобы создать обновление статуса.

В примере нашей языковой модели мы хотим добавить род нового субъекта в статус ячейки, чтобы заменить старый, который мы забываем.

$$i_t = \sigma(W_i * [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$
$$\tilde{C}_t = tanh(W_C * [h_{t-1}, x_t] + b_C)$$

Теперь пришло время обновить старый статус ячейки, C_{t-1}, в новый статус ячейки C_t. Предыдущие шаги уже решили, что делать, нам просто нужно сделать это на самом деле.

Мы умножаем старый статус на f_t, забывая то, что решили забыть ранее. Затем мы добавляем $i_t * \tilde{C}_t$. Это новые значения кандидатов, в зависимости от того, насколько мы решили обновить каждое значение статуса.

Что касается языковой модели, то здесь мы фактически отбрасываем информацию о поле старого субъекта и добавляем новую информацию, как мы решили на предыдущих шагах.

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t$$

Наконец, нам нужно решить, что мы собираемся выводить. Этот вывод будет основан на состоянии нашей ячейки, но будет отфильтрованной версией. Сначала мы запускаем сигмовидный слой, который решает, какие части состояния ячейки мы будем выводить. Затем мы помещаем состояние ячейки через *tanh* (чтобы значения были в диапазоне от -1 до 1) и умножаем его на выходной сигнал сигмоидального затвора, чтобы выводить только те части, которые мы решили.

Для примера языковой модели, поскольку он только что увидел предмет, он может захотеть вывести информацию, относящуюся к глаголу, в случае, если это то, что будет дальше. Например, он может выводить, является ли объект единственным или множественным, так что мы знаем, в какую форму следует спрягать глагол, если это будет следующим.

3. Эксперимент

Для этого конкретного моделя мы собрали набор данных из известных казахских книг, таких как «Абай жолы», «Қара сөздер» и т. д. После сбора необработанного текста из этих источников мы применили простой этап предварительной обработки, удаление и замена большинства ненужных символов, удаление всех знаков препинания, нормализация всех слов. Мы преобразовали последовательность слов в последовательность токенов. В итоге мы получили длинный список токенов в последовательности из 50 слов и 1 выходного слова, что дает нам 51 слово в одной последовательности. В целом мы получили 200 000 последовательностей. Позже мы закодировали каждое слово уникальным номером, потому что мы использовали слой вложение (embedding layer), который ожидает, что входные последовательности состоят из целых чисел. Чтобы сделать кодировку, мы использовали класс Tokenizer в API Keras. Позже, когда мы делаем прогнозы, мы можем посмотреть прогнозируемое число связанное слово.

Мы обучили две подобные модели(LSTM и BiLSTM). Для обучения этих моделей мы использовали “Google Colaboratory”. Общее время обучения составило 7 часов. Производительность каждой модели показана на Рисунке 3. Первая модель имеет следующую структуру:

1) Слой вложение со словарем размером 50
2) Слой LSTM с 50 нейронами с регуляризацией L2
3) Регуляризация Dropout с вероятностью 0,5

4) Слой LSTM с 50 нейронами с регуляризацией L2
5) Регуляризация Dropout с вероятностью 0,5
6) Слой Dense с 100 нейронами и функцией активации “relu” для выделения признаков
7) Выходной слой, который предсказывает следующее слово в виде одного вектора размер словаря с вероятностью для каждого слова в словаре.

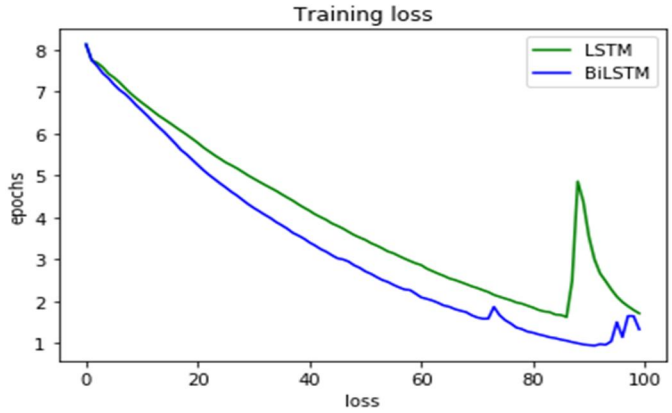


Рис. 3. Производительность моделей LSTM и BiLSTM

Вторая модель имеет модель BiLSTM вместо LSTM:
1) Слой вложение со словарем размером 50
2) Слой BiLSTM с 50 нейронами с регуляризацией L2
3) Регуляризация Dropout с вероятностью 0,5
4) Слой BiLSTM с 50 нейронами с регуляризацией L2
5) Регуляризация Dropout с вероятностью 0,5
6) Слой Dense с 100 нейронами и функцией активации “relu” для выделения признаков
7) Выходной слой, который предсказывает следующее слово в виде одного вектора размер словаря с вероятностью для каждого слова в словаре.

Сравнивая производительность двух разных моделей, мы выбрали вторую модель со слоем BiLSTM, поскольку она показала очень многообещающие результаты по сравнению с моделью со слоем LSTM в Таблице 1. Рисунок 4 демонстрирует, что модель LSTM в какой-то момент начала резко увеличивать потери. Это необычное поведение может привести к таким проблемам, как переобучение (overfitting), которое не наблюдается в модели BiLSTM.

Таблица 1. Данные о производительности LSTM и BiLSTM моделей

Название модели	**Потеря**	**Точность**	**Эпох**
LSTM	1.70	59.43	100
BiLSTM	1.32	73.71	100

3. Заключение

В статье была разработана языковая модель казахского языка с помошью собранных текствовых данных. В эксперименте были вовлечены два типа нейронных сетей(LSTM и BiLSTM). Текстовые данные были собраны с известных казахских литературных книг и были предварительно обработаны с помошью вручную написанных скриптов. После анализа данных о производительности моделей был сделан вывод что модель BiLSTM показал наилучший результат с точностью в 73.71% и с потерей в 1.32.

Литература

1. Russell S. and Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Ed.). Pretice Hall. 2002.
2. Kukich K. Techniques for automatically correcting words in text. ACM Computing Surveys.1992. 24(4), pp. 377-439.
3. Newell A., Langer S. and Hickey M. The role of natural language processing in alternative and augmentative communication. Natural Language Engineering. 1998. 4(1). pp. 1-16
4. Church K.W. A stochastic parts program and noun phrase parser for unrestricted text. Proceedings of the Second Conference on Applied Natural Language Processing. 1988. pp. 136–143
5. Brown P.F., Cocke J., DellaPietra S.A., DellaPietra V.J., Jelinek F., Lafferty J.D., Mercer R.L., and Roossin P.S. A statistical approach to machine translation. Computational Linguistics. 1990. 16(2). pp. 79–85
6. Hull J.J. Combining syntactic knowledge and visual text recognition: A hidden Markov model for part of speech tagging in a word recognition algorithm. AAAI Symposium: Probabilistic Approaches to Natural Language. 1992. pp. 77–83.
7. Sepp Hochreiter, Jurgen Schmidhuber, LONG SHORT-TERM MEMORY, Neural Computation 9(8):1735-1780, 1997

РЕШЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ, СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ LIGHTGBM ДЛЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ «ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР+ТЕПЛОВОЙ НАСОС»

Амиргалиев Е.Н., Кунелбаев М.Н., Ауелбеков О.А., Катаев Н.С., Едилхан Д., Сундетов Т., Орманов Т.
e-mail: murat7508@yandex.kz
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В данной работе были проведены численные решения статистических данных и построение прогностической модели с помощью программы машинного обучения LightGBM для системы солнечного теплоснабжения. Gradient Boosting Decision Tree (GBDT) - это популярный алгоритм машинного обучения, и имеет довольно много эффективных реализаций, таких как XGBoost и pGBRT. Для решения конкретного алгоритма решения задачи условно подбирается пороги, чтобы справа целевая переменная падала, входные переменные росли. Разработали четыре алгоритма, которые показывают, как с помощью программы машинного обучения LightGBM установлена возможность построения функциональных зависимостей между входными и выходными параметрами. Из проделанных численных экспериментов можно сделать вывод. LightGBM достаточно хорошо обучен, ускоряет процесс обучения, что в дальнейшем можно сказать, что пакет LightGBM достаточно хорошо обучен для систем солнечного теплоснабжения.*

1. Введение

Экологические воздействие сжигания и истощение запасов ископаемого топлива привело к разработке альтернативных и более устойчивых источников энергии. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные фотоэлектрические (PV), солнечные тепловые (например, концентрированная солнечная энергия, CSP), геотермальные, приливные волны, энергия ветра и биомасса быстро растут в энергетическом секторе [1]. Многие страны и компании стремятся диверсифицировать свои энергетическая структура за счет увеличения доли возобновляемых источников энергии.

Для поддержки лучшего управления производством и потреблением энергии мотивировали методы использование машинного обучения. В зависимости от требований и характеристикой проблемы используются различные технологии машинного обучения на разных этапах электрических сетей, интегрированной с возобновляемой энергией. Необходимо прогнозировать как краткосрочный, так и среднесрочный спрос, который вносит значительную долю энергетических поставок. Это облегчит формулировку хорошо информированной энергетической политики. С другой стороны, также необходимо прогнозировать выход энергии из сами электростанции на возобновляемых источниках энергии, так как выход энергии из этих электростанции зависят от многих факторов окружающей среды, которые невозможно контролировать.

Важное использование методов машинного обучения в возобновляемых источников энергии, заключается в определении оптимального местоположения, размеров и конфигурации возобновляемых электростанций. Эти параметры зависят от многих факторов, таких как близость к населенным пунктам, местные климатические условия, местность, доступность и расходы на логистику и другие объекты. Одной из основных областей для применения методов машинного обучения является управление интеллектуальной сеткой, то есть такие вопросы, как обнаружение неисправностей, контроль и т. д.

Одним из способов использования возобновляемой энергии для разогрева вода для бытовых нужд является термосифонный солнечный нагреватель. Для прогнозирования производительности этих устройств использовался ИНН Kalogirou

et.al.[2]. В данной работе разработчики рассчитали производительность с точки зрения извлеченная полезной энергия и повышение температуры хранимой воды. ANN была обучена с использованием данных о производительности для четырех типов систем, все из которых используют та же панель коллектора при меняющихся погодных условиях. Выход ANN равен полезной энергия, извлекаемая из системы и повышение температуры воды. Семь входных блоков, 24 скрытых нейрона и 2 нейрона в качестве выходных модель сети. Sharma et al. [3] использовали другой метод машинного обучения. Была предложена модель прогноза для конкретного участка производства солнечной энергии на основе погодных параметров. Использовались методы множественной регрессии, включая SVM методом наименьших квадратов. Экспериментальные результаты показали, что модель SVM превзошла другие с точность до 27% больше. Diagne et al. [4] недавно предоставил обзор методов прогнозирования солнечной энергии, охватывающих различные физические и статистические / машинные методы обучения.

Среди различных подходов машинного обучения существуют некоторые наиболее широко используемые алгоритмы, такие как искусственная нейронная сеть (ANN) [2], машина опорных векторов (SVM) [5] и машина экстремального обучения (ELM) [6]. ANN является наиболее распространенным алгоритмом из-за его длинной истории и мощного прогнозирующего потенциала.

Общая схематическая структура модели ANN представлена на рисунке 1.

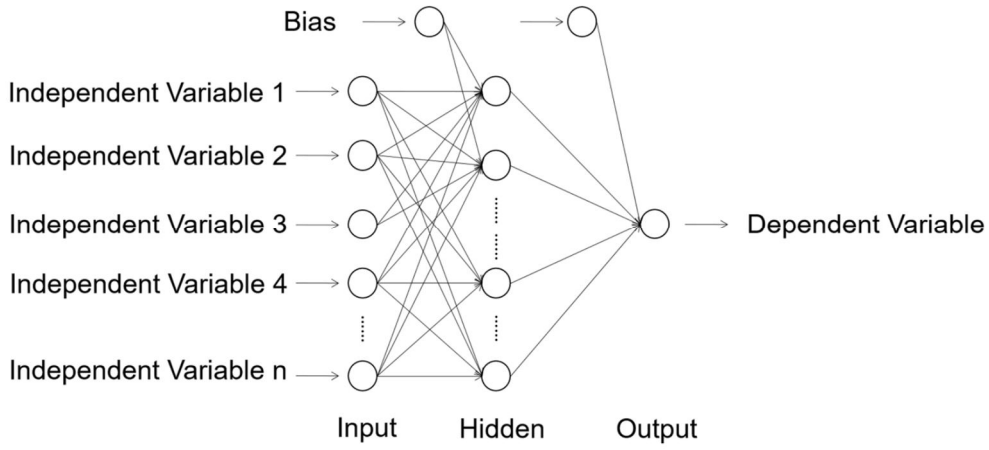


Рис. 1. Общая схематическая структура типичной модели ANN

Пустые кружки представляют нейроны. Все нейроны соединяются с другими нейронами в соседнем слое (ях). Каждый нейрон во входном слое представляет собой независимую переменную. Нейрон в выходном слое представляет зависимую переменную [7].

В данное время несмотря на значительный прогресс в машинном обучении, в последние годы требования к технике и промышленности росли: как экономически эффективно спроектировать и оптимизировать систему солнечной энергии с помощью машинного обучения? В настоящее время машинное обучение является

проверенным мощным инструментом для различных числовых прогнозов, и исследователи пытаются в полной мере использовать его предсказательную силу, а также обеспечивают хорошую стратегию оптимизации для достижения более высоких показателей. В работе [8] провели исследовательские отчеты, которые были в основном посвящены соответствующим исследованиям. Одним из первого исследования по оптимизации энергосистемы HTS высокопроизводительного скрининга, который способны обеспечить превосходную прогностическую эффективность для SWH, но также помогают эффективно и многообещающе оптимизировать тепловые характеристики [9].

Солнечные коллекторы и концентраторы используются для сбора, хранения и использования солнечной радиации для нагрева воздуха или воды, SWH является одним из самых популярных методов [10].

2. ГБДТ и анализ его сложности

Одним из широко используемым алгоритмом машинного обучения является градиентное дерево принятия решений (GBDT) [11], которая является хорошо эффективной, точной и интерпретируемой. Во многих задачи машинного обучения GBDT достигает самых современных достижений, такие как многоклассовая классификация [12], прогнозирование кликов [13] и обучение ранга [14]. В последние годы, GBDT сталкивается с новыми проблемами с появлением больших данных (с точки зрения количества функций и количество случаев),особенно точности и эффективности. Обычные реализации GBDT должны, для каждой функции, сканировать все экземпляры данных для оценки выигрыша информации всех возможных точек разделения. Поэтому их вычислительные сложности будут пропорциональны как количеству функций, так и количеству экземпляров. Это делает эти реализации очень трудоемкими при обработке больших данных.

Чтобы решить эту проблему, простая идея состоит в том, чтобы уменьшить количество экземпляров данных и количество функций. Однако это оказывается весьма нетривиальным. Например, неясно, как выполнить выборку данных для GBDT. Хотя есть некоторые работы, которые выборочные данные в соответствии с их весом для ускорения тренировочного процесса повышения [15,16,17], они не могут быть непосредственно применены к GBDT.

Основные затраты в GBDT заключаются в изучении деревьев решений и самой трудоемкой части в изучение дерева решений состоит в том, чтобы найти лучшие точки разделения. Один из самых популярных алгоритмов нахождения сплита points - это предварительно отсортированный алгоритм [8, 9], который перечисляет все возможные точки разделения на предварительно отсортированные значения функций. Also we have considered the mathematical model of separate constructions and operation mode of thermosyphon circulation double circuit solar collector. Proceeding from the analysis results we have managed to optimize individual structural elements, as well to prognoses the thermal regime and alternative solutions selection for designing the flat solar collectors and their operation regime selection [18].

Целью данного исследования является решение численных статистических данных и построение прогностической модели с помощью программы машинного обучения LightGBM совместного функционирования системы «гелиоколлектор+тепловой насос».

3. Моделирование совместного функционирования системы «гелиоколлектор + тепловой насос»

Рассмотрим вопрос математического моделирования параметров системы солнечного теплоснабжения, основанной, в том числе, на преобразовании энергии солнечного излучения в тепловую энергию при помощи солнечного коллектора, а также преобразования низкопотенциальной энергии окружающей среды посредством теплового насоса. Математическая модель теплоэнергетических процессов (теплоэнергетическая модель) в системы солнечного теплоснабжения представляет собой многоуровневую инвариантную систему, учитывающую целый набор процессов и факторов, определяющих характер теплоэнергетического состояния рассматриваемой системы теплоснабжения. Проведение математического моделирования теплоэнергетических параметров (анализ теплоэнергетических моделей) системы солнечного теплоснабжения необходимо проводить с помощью высокопроизводительных вычислений, основанных на параллельных алгоритмах для многопроцессорных вычислительных систем.

Функционирования гелиоколлектора с тепловым насосом с сопряженными элементами процесса, приведена на рисунке 1.

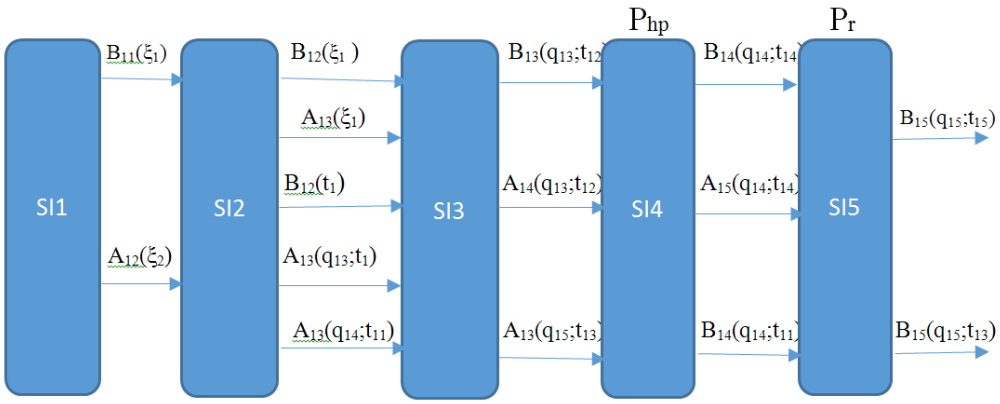


Рисунок 2 - Модель и схема сопряжения элементов подсистемы,
SU1 — солнечная энергия, SU2 — тепло атмосферного воздуха, SU3- гелиоколлектор,
SU4 - тепловой насос, SU5- аккумулятор тепловой энергии.

При моделировании соблюдены аналогии с реальным объектом. Входные и выходные сигналы обозначены A_{li} и B_{li}, где символ *i* - показывает номер элемента, к которому относится сигнал, а цифра 1, согласно принятых обозначений (рисунок 2), принадлежность параметров данной подсистеме.

Модель имеет особые входные контакты, в которые поступают управляющие сигналы, которых два - мощность компрессора теплового насоса (p_{mn}) и мощность резервного источника (p_{pu}). Обратные связи из SU4 в SU3 и из SU5 в SU6 показывают циркуляцию теплоносителя из выхода испарителя теплового насоса на вход гелиоколлектора и $B_{14}(q_{14};t_{11})$ и из выхода бака-аккумулятора на вход конденсатора теплового насоса $B_{15}(q_{15};t_{13})$

В отопительные месяцы (зимнее время года) переменная интенсивности солнечной радиации, моделируется выходным сигналом из SU1 и может быть представлена полиномом:

$$B_{11}(\zeta_1) = \sum_{n=1}^{n} a_{1n} * m^{n-1} \quad (1)$$

В отопительные месяцы (зимнее время года) переменная температура атмосферного воздуха, моделируется выходным сигналом из SU2 и может быть также представлена полиномом:

$$B_{12}(t_1) = \sum_{n=1}^{n} a_{1n} * m^{n-1} \quad (2)$$

где: a_{1n}; b_{1n} — постоянные полиномов; m — порядковый номер расчетного месяца.

Векторное уравнения балансов энергии элемента SU3 моделирующего гелиоколлектора можно представить ввиде:

$$A_{13}(\zeta_1) + A_{13}(q_{13}; t_{m1}) + A_{13}(q_{14}; t_{11}) = B_{13}(q_{13}; t_{12}) \quad (3)$$

При возникновении теплообмена у гелиоколлектора с солнечной и обратной, теневой сторон может быть выражена в виде 2-х дифференциальных уравнений:

$$k_1(t_{m1} - t) * S_{гк} + e_m * \beta * S_{гк} - C_{гк1} * \frac{dt}{d\tau} = q_{сэ} + q_{тав} \quad (4)$$

$$k_2(t_{m1} - t) * S_{гк} - C_{гк2} * \frac{dt}{d\tau} = q_{сэ} + q_{тав} \quad (5)$$

Общее дифференциальное уравнение SUз имеет вид:

$$2k(t_{m1} - t) * S_{гк} + e_m * \beta * S_{гк} - C_{гк} * \frac{dt}{d\tau} = q_{сэ} + q_{тав} \quad (6)$$

где: $q_{сэ}{}^{+} qTAB^{=} q_{xl}$ - хладопроизводительность теплового насоса; t -температура гелиоколлектора; β - оптический коэффициент гелиоколлектора; $c_{гк1}$; $c_{гк2}$ и $c_{гк}$ — теплоёмкости (гелиоколлектора) лицевой, обратной частей и общая; k; k_1, k_2 - коэффициенты теплопередачи общая и двух сторон гелиоколлектора.

Интегральной формой записи закономерности функционирования SU_3, является выражение:

$$2k(t_{m1} - t) * S_{\tilde{a}\hat{e}} + \mathring{a}_m * \beta * S_{\tilde{a}\hat{e}} - \tilde{N}_{\tilde{a}\hat{e}} * \frac{dt}{d\tau} = q_{c\acute{y}} + q_{i\grave{a}\hat{a}}$$

Решением уравнения (6), является экспоненциальная функция динамики температуры теплоносителя в гелиоколлекторе во времени

$$t = t_{m1} - \frac{q_{x1} - e_m * \beta * S_{гк}}{2 * k * S_{гк}} \left[1 - \exp\left(- \frac{2t * S_{гк} - k}{C_{гк}} \right] \right) \quad (7)$$

Хладо- и теплопроизводительность теплового насоса описываются уравнениями:

$$A_{14}(q_{13}; t_{12}) = p_{тн} * \tau * (\varphi - 1)$$
$$A_{14}(q_{14}; t_{14}) = p_{тн} * \tau * (\varphi - 1) \quad (8)$$

где: $p_{тн}$ мощность компрессора τ - время работы; φ - коэффициент преобразования теплового насоса.

Коэффициент преобразования зависит от температур конденсатора (t_k) и испарителя (t_u), показывает энергетическую эффективность теплового насоса. Для реального теплового насоса обычно определяется экспериментально и описывается степенной функцией:

$$\varphi = \sum_{n=1}^{n} c_n (t_k - t_u)^{n-1} \quad (9)$$

В соответствии с условием квазистационарности связей

$$q_{тнн1} = p_{тн} * \tau * \left[\sum_{n-1}^{n} c_n * (t_k - t)^{n-1} - 1 \right]$$
$$q_{тнт1} = p_{тн} * \tau * \left[\sum_{n=1}^{n} c_n * (t_k - t)^{n-1} \right] \quad (10)$$

Формула хладопроизводительности выводится решением уравнения:

$$p_{тн} * \tau * \sum_{n=1}^{n} c_n * \left[\left\{ t_k - t_{m1} + \frac{q_{x1} - e_m * \beta * S_{гк}}{2 * к * S_{гк}} * \left[1 - \exp\left(- \frac{2 * \tau * k * S_{гк}}{C_{гк}} \right) \right] \right\}^{n-1} - 1 \right] - q_{x1} = 0 \quad (11)$$

В расчётах суточной (или месячной) хладо - и теплопроизводительности, в дальнейших исследованиях, целесообразно использование формулы установившегося режима (8), так как значение exp→0. При этом (11) принимает вид

$$p_{тн} * \tau * \left[c_3 + c_2 * \left(t_k - t_{m1} + \frac{q_{x1} - e_m * \beta * S_{гк}}{2 * k * s_{гк}} \right)^{n-1} - 1 \right] - q_{тнx1} = 0 \quad (12)$$

$$q_{тнт1} = p_{тн} * \tau * \left[\sum_{n=1}^{n} c_n * (t_k - t_{m1} + ((q_{x1} - e_m * B * S_{гк}) / 2 * k * S_{гк})^{n-1}) \right] \quad (13)$$

4. Решение численных статистических данных и построение прогностической модели с помощью программы машинного обучения LightGBM для системы солнечного теплоснабжения

LightGBM имеет целевые и входные переменные. Для решения конкретного алгоритма решения задачи условно подбирается пороги, чтобы справа целевая переменная падала, входные переменные росли. GBDT является ансамблевой моделью деревьев решений, которые обучаются в последовательности [1]. В каждой итерации GBDT изучает деревья решений, подбирая отрицательные градиенты (также известные как остаточные ошибки).

Algorithm 1: Метод регрессии

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split, RandomizedSearchCV
import lightgbm as lgb
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import matplotlib.pyplot as plt
params = {
    'boosting_type': 'gbdt',
    'objective': 'regression',
    'metric': {'l2', 'l1'},
    'num_leaves': 31,
    'learning_rate': 0.05,
    'feature_fraction': 0.9,
    'bagging_fraction': 0.8,
    'bagging_freq': 5,
    'verbose': 0
}
%matplotlib inline
```

С помощью пакета программы LightGBM разработан метод регрессии, когда целевая переменная является непрерывно дискретной, как на примере солнечная радиация, суммарная солнечная радиация, тепло атмосферного воздуха. Считывает расстояния, то есть метрики l1 и l2, где l1 –сумма модулей разности, l2-сумма квадратов разностей. В данном алгоритме имеется собрание библиотек классов Boost, где показывает вес выборки и служит хорошим индикатором важности экземпляров данных. Однако в GBDT нет собственных весов выборки, и, таким образом, методы выборки, предложенные для AdaBoost не может быть применен напрямую. Для каждого экземпляра данных в LigtGBM предоставляет нам полезную информацию для выборки данных. То есть, если экземпляр связан с небольшим уклоном, ошибка обучения для этого экземпляра мала, и она уже хорошо обучена.

Algorithm 2: Расчет количества листьев

```
data = pd.read_excel("D:\\temp\\mura.xlsx", skiprows=1)
data.columns = ["col%s"%ind for ind in range(11)]
```

Во втором алгоритме рассчитывается количество листьев, где лист — это конечная точка, которая позволяет задать точность прогнозирования параметров.

Algorithm 3: Скорость обучения

```
for ind in range(1,10,1):
   data['col%s'%ind] = data['col%s'%ind].astype('float64')
INPUT = ['col1','col2','col3','col4']
OUTPUT = ['col5','col6','col7','col8','col9','col10']
ORIGIN = [u'T bak',u'T koll vyh',u'KPD',u'T sol rad',u'Hladoproizvod tep nas',u'Teploproizv Tep nas']
```

В 3 алгоритме рассматривается скорость обучения, которое позволяет регулировать шаг подборки. В данном алгоритме может быть не один порог, а несколько порогов. При решении данной задачи для расчетов термодинамических и теплотехнических параметров системы солнечного теплоснабжения не нужно нормализовывать входные переменные.

Algorithm 4: Тестовые и обучающие множества

```
def train_gbm(data,col,cnt):
   X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data[INPUT] , data[col], test_size = 0.20)
    # create dataset for lightgbm
    lgb_train = lgb.Dataset(X_train, y_train)
    lgb_eval = lgb.Dataset(X_test, y_test, reference=lgb_train)
    print('Starting training...',col)
    # train
    gbm = lgb.train(params,
                lgb_train,
                num_boost_round=20,
                valid_sets=lgb_eval,
                early_stopping_rounds=5)
    print('Saving model...')
    # save model to file
    gbm.save_model('model.txt')

    print('Starting predicting...')
    # predict
    y_pred = gbm.predict(X_test, num_iteration=gbm.best_iteration)
    # eval
    print('The rmse of prediction is:', mean_squared_error(y_test, y_pred) ** 0.5)
    ax = plt.subplot(2,3,cnt+1)
    plt.plot(list(range(1,21,1)),y_test,'b')
    plt.plot(list(range(1,21,1)),y_pred,'r')
    ax.set_title(ORIGIN[cnt-1])
plt.figure(figsize=(15,15))
for cnt,col in enumerate(OUTPUT):
   train_gbm(data,col,cnt)
```

Для того чтобы протестировать прогностическую модель в 4 алгоритме разбивают на тестовые и обучающие множества соотношением 20 к 80. Получившиеся графики при тестировании теплотехнических параметров по оси абсцисс от 0 до 20 это номера тестовых примеров, а по оси ординат это входные и выходные параметры системы солнечного теплоснабжения.

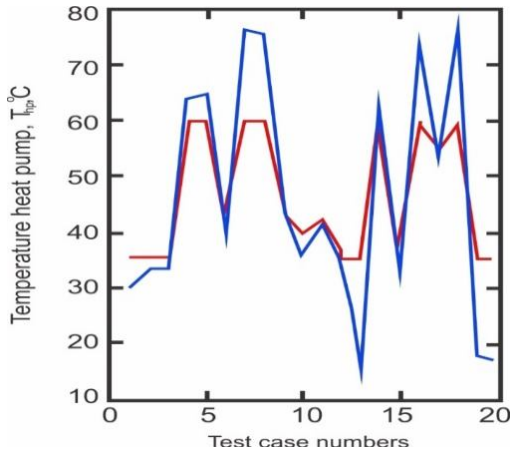


Рисунок 3- Зависимость температуры бака-аккумулятора от номера тестовых случаев

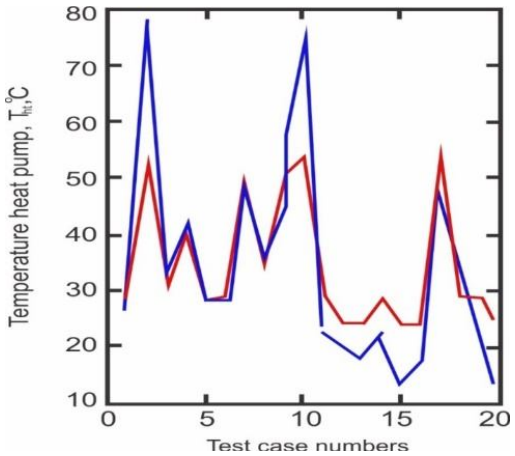


Рисунок 4- Зависимость температуры теплопроизводительности теплового насоса от номера тестовых случаев

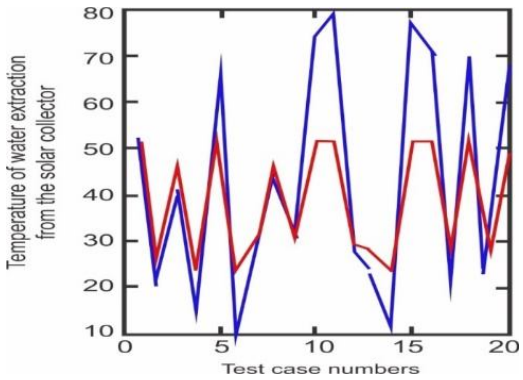


Рисунок 5- Зависимость температуры выхода воды из солнечного коллектора от номера тестовых случаев

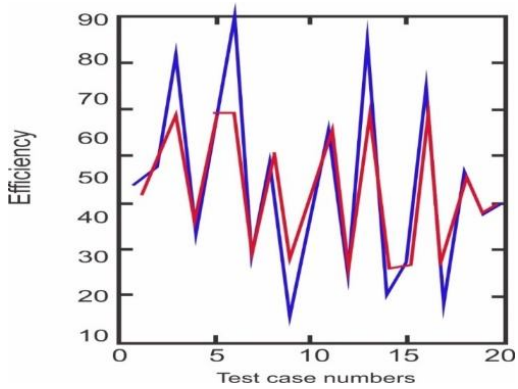


Рисунок 6- Зависимость КПД солнечной тепловой установки от номера тестовых случаев

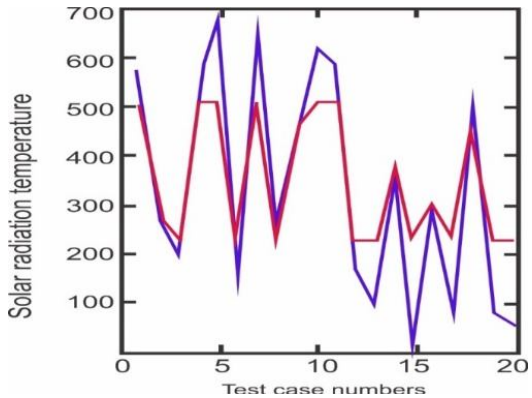


Рисунок 7- Зависимость температуры солнечной радиации в г.Алматы (Казахстан) от номера тестовых случаев

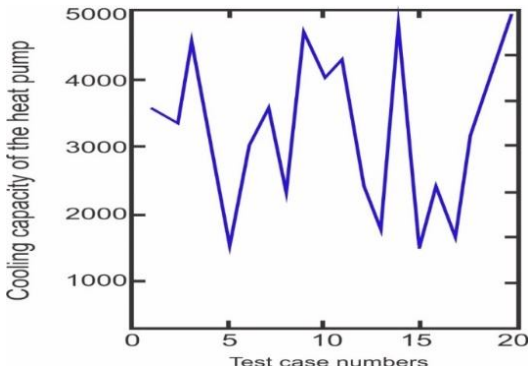


Рисунок 8- Зависимость температуры хладопроизводительности теплового насоса номера тестовых случаев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При моделировании прогностической модели с помощью машинного обучения для разработки математической модели системы «глиоколлектор+тепловой насос» происходит повторение форм по обучающей модели. В результате проведенных численных статистических экспериментов и построение прогностической модели установлена возможность построения функциональных зависимостей между входными и выходными параметрами. Ошибка между экспериментальной (лабораторной) численным (статистическим) методами температура бака аккумулятора составляет 7,775 градусов, температура выхода горячей воды из солнечного коллектора-4,49 градуса, КПД всей системы солнечного теплоснабжения – 7,74 градуса, температура солнечной радиации-4,66 градуса, теплопроизводительность теплового насоса-87 градусов, а хладопроизводительность-15 градусов. Из этого можно сделать вывод, что в дальнейшем пакет LightGBM достаточно хорошо обучен. Так же можно расширить обучающую выборку, что потенциально улучшить точность прогнозирования параметров.

ЛИТЕРАТУРА

[1] United States Department of Energy: 2012 renewable energy data book (2012) http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60197.pdf

[2] Kalogirou, S.A., Panteliou, S., Dentsoras, A.: Artificial neural networks used for the performance prediction of a thermosiphon solar water heater. Renewable Energy 18 (1999) 87–99

[3] Sharma, N., Sharma, P., Irwin, D., Shenoy, P.: Predicting solar generation from weather forecasts using machine learning. In: Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). (2011) 528–533

[4] Diagne, M., David, M., Lauret, P., Boland, J., Schmutz, N.: Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids. Renewable and Sustainable Energy Reviews 27 (2013) 65–76

[5] Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least Squares Support Vector Machine Classifiers. *Neural Processing Letters*, *9*, 293–300.

[6] Huang, G.-B., Zhu, Q., Siew, C., Ã, G. H., Zhu, Q., Siew, C., … Siew, C. (2006). Extreme learning machine: Theory and applications. *Neurocomputing*, *70*, 489–501.

[7] Li, H., Liu, Z., Liu, K., & Zhang, Z. (2017). Predictive Power of Machine Learning for Optimizing Solar Water Heater Performance : The Potential Application of High-Throughput Screening. *International Journal of Photoenergy*.

[8] Peng, H., & Ling, X. (2008). Optimal design approach for the plate-fin heat exchangers using neural networks cooperated with genetic algorithms. *Applied Thermal Engineering*, *28*, 642–650.

[9] Liu, Z., Li, H., Liu, K., Yu, H., & Cheng, K. (2017). Design of high-performance water-in-glass evacuated tube solar water heaters by a high-throughput screening based on machine learning: A combined modeling and experimental study. *Solar Energy*, *142*, 61–67.

[10] Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

[11] Jerome H Friedman. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. Annals of statistics, pages 1189–1232, 2001.

[12] Ping Li. Robust logitboost and adaptive base class (abc) logitboost. arXiv preprint arXiv:1203.3491, 2012.

[13] Matthew Richardson, Ewa Dominowska, and Robert Ragno. Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web, pages 521–530. ACM, 2007.

[14] Christopher JC Burges. From ranknet to lambdarank to lambdamart: An overview. Learning, 11(23-581):81, 2010.

[15] Jerome Friedman, Trevor Hastie, Robert Tibshirani, et al. Additive logistic regression: a statistical view of boosting (with discussion and a rejoinder by the authors). The annals of statistics, 28(2):337–407, 2000.

[16] Charles Dubout and François Fleuret. Boosting with maximum adaptive sampling. In Advances in Neural Information Processing Systems, pages 1332–1340, 2011.

[17] Ron Appel, Thomas J Fuchs, Piotr Dollár, and Pietro Perona. Quickly boosting decision trees-pruning underachieving features early. In ICML (3), pages 594–602, 2013.

[18] Yedilkhan Amirgaliyev, Murat Kunelbayev, Aliya Kalizhanova, Omirlan Auelbekov, Nazbek Katayev, Ainur Kozbakova. Theoretical And Mathematical Analysis Of Doublecircuit Solar Station With Thermo Siphon Circulation. Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi . 2019. 22(2),pp. 485-493

О ПРИМЕНЕНИИ ОДНОГО СПОСОБА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПЛОСКОГО КРИСТАЛЛА

Амирханова[1] Г.А., Горчаков[2] А.Ю., Дуйсенбаева[1] А.Ж.

[1]Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан
[2]Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына РАН,
ФИЦ ИУ РАН, Россия

Аннотация. *В работе рассматривается три метода кластеризации для найденных векторов геометрических характеристик плоской кристаллической решетки. Первые два, K-means и Mini Batch K-means, применяются для решения задач с большим количеством образцов. Третий метод, AffinityPropagation, самостоятельно выбирает количество кластеров, на основе предоставленных данных. Для улучшения качества кластеризации методом AffinityPropagation, предложена матрица сходства, учитывающая симметрии фрагмента кристаллической решетки. Проведено экспериментальное сравнение методов, которое показало преимущество третьего метода.*

Ключевые слова: *k-means, mini batch k-means, AffinityPropagation, кластеризация, двумерные кристаллы, графеноподобные структуры.*

Введение

Исследование плоских кристаллов началось еще в 1912 году, когда немецкий физик М. Лауэ сформулировал условия возникновения дифракционных максимумов при прохождении рентгеновских лучей через кристаллы [1]. В работе рассматривается задача нахождения энергетического минимума фрагмента кристаллической решетки. Решение данной задачи позволит получать новые материалы.

Для вычисления серии локальных минимумов применяется метод глобальной оптимизации – метод мультистарта. Далее решается задача кластеризации полученных локальных минимумов. Для этого применяются методы из библиотеки scikit-learn [2], которые осуществляют группировку и поиск центров в совокупности атомов, заданных координатами в двумерном пространстве. В работе рассматривается постановка задачи с фрагментом фиксированной длины.

В качестве рекомендуемого метода кластеризации выбран метод AffinityPropagation [3]. Для ускорения вычисления матрицы сходства применяется библиотека mpi4py [4-6].

1. Постановка задачи

Для задачи исследования свойств многослойного кусочно-однородного материала, модель которого предложена в [7, 8], был сгенерирован фрагмент с кристаллической решеткой, в которой было задано количество слоев, количество атомов и их тип, радиус отсечения и т.д.

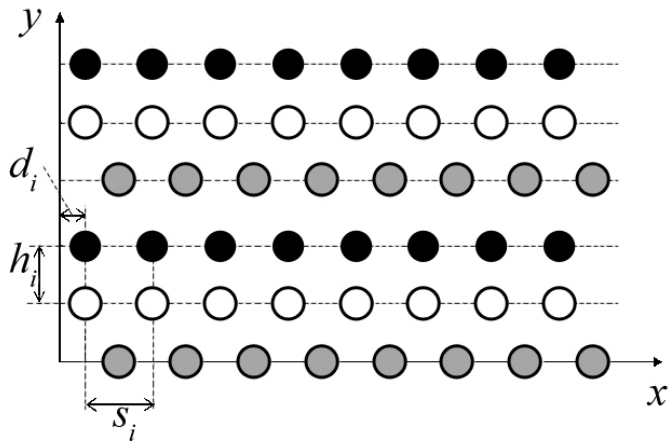


Рис.1. Двумерная модель материала

В рамках данной модели положение атомов определяется следующими параметрами:

$h_i, i = 1, \dots, K$ – расстояние между слоем с номером i и предыдущим слоем;

$d_i, i = 1, \dots, K$ – смещение первого атома в слое i с положительной абсциссой относительно нулевой отметки;

$s_i, i = 1, \dots, K$ – расстояние между атомами в слое i.

$d_i = 0, d_i < s_i, i = 2, \dots, K$

Совокупность значений перечисленных параметров будем называть конфигурацией, которая определяется вектором типов атомов длины k и вектором геометрических характеристик $z = (h_1, d_1, s_1, \dots, h_k, d_k, s_k)$ длины $3k$.

В работах [9, 10] была осуществена минимизация $E(x)$ – энергии атомов, входящих в фрагмент. Для этого был использован метод Розенброка, и получена серия локальных минимумов и соответствующих им конфигураций.

В качестве методов кластеризации рассматриваются:

1. K-means
2. Mini Batch K-Means
3. AffinityPropagation

2. Метод K-Means

В алгоритме K-means данные кластеризуются, пытаясь разбить образцы в n групп с одинаковым отклонением, минимизируя критерий, известный как *инерция* или внутрикластерная сумма квадратов. Этот алгоритм требует указывать количество кластеров. Он хорошо масштабируется для большого количества образцов и использовался в широком диапазоне областей применения во множестве разных сфер.

Алгоритм K-means делит множество N образцов X в K непересекающихся кластеров C, каждый из которых описывается как среднее μ_j образцов в кластере. Эти средние обычно называются кластерными центрами; они, как правило, не являются X, хотя существуют в одном пространстве.

Алгоритм K-means предназначен для выбора центров, которые минимизируют инерцию или внутрикластерный критерий суммы квадратов:

$$\sum_{i=0}^{n} \min_{\mu_j \in C} \left(\|x_i - \mu_j\|^2 \right)$$

Инерция может быть определена как мера того, насколько внутренне когерентны кластеры. Она обладает рядом недостатков:

– Инерция предполагает, что кластеры дугообразные и изотропные, что не всегда так. Она плохо реагирует на вытянутые скопления или множества неправильной формы.

– Инерция не является нормализованной метрикой: мы просто знаем, что более низкие значения лучше, а ноль оптимален. Но в пространствах с высоким количеством измерений евклидовы расстояния имеют тенденцию становиться раздутыми (т.н. «проклятие размерности»). Выполнение алгоритма уменьшения размерности, такого как анализ главных компонентов (PCA) перед кластеризацией K-means, может решить эту проблему и ускорить вычисления.

3. Метод Mini Batch K-Means

MiniBatchKMeans — это вариант алгоритма KMeans, который использует мини-пакеты для сокращения времени вычислений, в то же время пытаясь оптимизировать ту же целевую функцию. Мини-пакеты — это подмножества входных данных, которые выбираются случайным образом в каждой обучающей итерации. Эти мини-пакеты значительно сокращают объем вычислений, необходимых для сходимости к локальному решению. В отличие от других алгоритмов, которые уменьшают время сходимости k- means, мини-пакетные k-means дают результаты, которые, как правило, лишь немного хуже, чем стандартный алгоритм.

Данный алгоритм перебирает два основных шага, аналогично базовому k-means. На первом этапе образцы b выбираются случайным образом из набора данных, чтобы сформировать мини-пакет. Затем они назначаются ближайшему центру. На втором этапе обновляются центры. В отличие от k- means, это делается для каждой выборки. Для каждой выборки в мини-пакете назначенный центр обновляется путем взятия среднего значения потока выборки и всех предыдущих выборок, назначенных этому центру. Это приводит к уменьшению скорости изменения центра с течением времени. Эти шаги выполняются до тех пор, пока не будет достигнута сходимость или заданное количество итераций.

MiniBatchKMeans сходится быстрее, чем KMeans, но качество результатов снижено. На практике эта разница в качестве оказалась небольшой.

4. Метод Affinity Propagation

AffinityPropagation создает кластеры путем отправки сообщений между парами образцов до сходимости. Набор данных затем описывается с использованием небольшого числа образцов, которые определены как наиболее представительные из других образцов. Сообщения, отправленные между парами,

представляют пригодность для одного образца быть образцом другого, который обновляется в ответ на значения из других пар. Это обновление происходит итеративно до сходимости, после чего выбираются окончательные образцы и, следовательно, происходит окончательная кластеризация.

Affinity Propagation может быть интересным, поскольку данный метод самостоятельно выбирает количество кластеров на основе предоставленных данных. Для этой цели служат два важных параметра — это *свойство*, который контролирует, сколько образцов используется, и *коэффициент демпфирования,* который заглушает сообщения об ответственности и доступности, чтобы избежать численных колебаний при обновлении этих сообщений.

Основным недостатком Affinity Propagation является его сложность. Алгоритм имеет временную сложность порядка $O(N^2T)$, где N — количество образцов и T — количество итераций до сходимости. Кроме того, сложность памяти порядка $O(N^2)$ если используется плотная матрица сходства, но сводимая, если используется разреженная матрица сходства. Это делает Affinity Propagation наиболее подходящим для небольших и средних наборов данных.

5. Индекс Дэвиса-Боулдина

В качестве метрики для оценки метода кластеризации использован индекс Дэвиса-Боулдина.

Если основные метки истинности неизвестны, индекс Дэвиса-Боулдина можно использовать для оценки модели, причем более низкий индекс Дэвиса-Боулдина относится к модели с лучшим разделением между кластерами.

Индекс определяется как среднее сходство между каждым кластером C_i для $i = 1, \dots, K$ и его самым похожим C_j, В контексте этого индекса сходство определяется как мера R_{ij} которая меняет

– s_i — среднее расстояние между каждой точкой кластера i и центра этого кластера, также известно как диаметр кластера.

– d_{ij} — расстояние между центрами кластеров i и j.

Простейшим является случай, когда R_{ij} является неотрицательной и симметричной:

$$R_{ij} = \frac{s_i + s_j}{d_{ij}}$$

Тогда индекс Дэвиса-Боулдина определяется как:

$$DB = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \max_{i \neq j} R_{ij}$$

При этом следует заметить, что $DB = 0$ — минимально возможная оценка. Значения ближе к нулю указывают на лучшее разделение.

При обычном использовании индекс Дэвиса-Болдина применяется к результатам кластерного анализа.

6. Результаты численных экспериментов

Мы провели численный эксперимент на компьютере с процессором Intel Core i7-4710HQ с частотой 2.50 GHz, ОЗУ 16 Гб, 64-разрядная система. По графику видно, что с увеличением количества выбранных кластеров качество кластеризации повышается незначительно, притом, что время, требуемое для вычислений, возрастает (рис. 2)

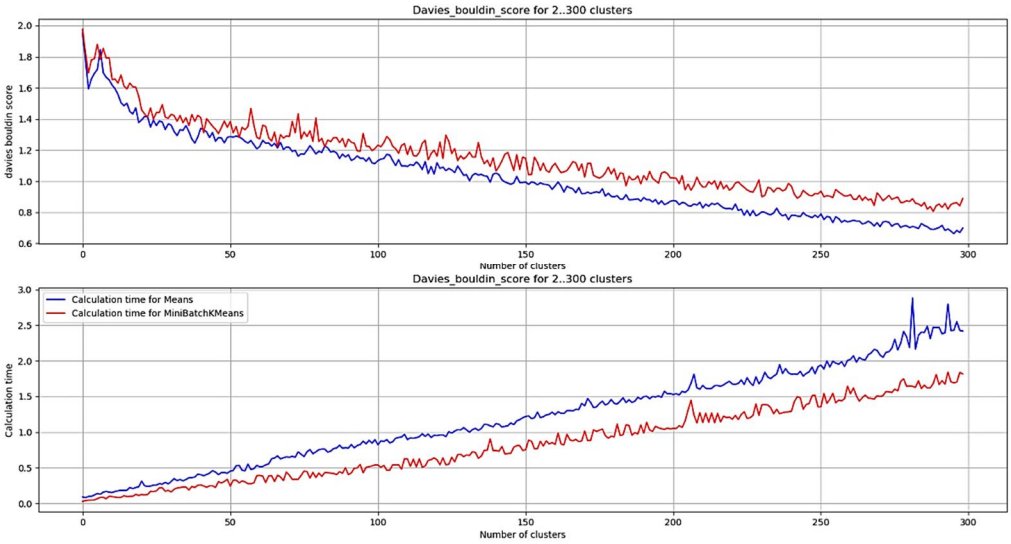


Рисунок 2. Зависимость индекса Дэвиса-Боулдина и времени вычисления кластеров от количества кластеров

Выбрав количество кластеров, равное 60, мы сравнили эффективность трех методов кластеризации по индексу Дэвиса-Боулдина и времени вычисления (табл. 1). Судя по результатам, все три способа эффективны, однако первые два работают значительно быстрее.

Таблица 1. Оценка методов кластеризации с помощью метрики индекс Дэвиса-Боулдина

Метод кластеризации	**K-Means**	**Mini Batch K-Means**	**Affinity Propagation**
индекс Дэвиса-Боулдина	1.242	1.276	1.214
Время, сек.	0.331	0.296	1.821

Далее в нашем эксперименте был применена предложена функция расстояния между двумя конфигурациями (и вычислена матрица сходства), учитывающая симметрию поворотов и сдвигов на воображаемом торе, которая позволила снизить количество кластеров, получаемое методом AffinityPropagation.

Таблица 2. Качество кластеризации методом AffinityPropagation до и после оптимизации

	до оптимизации	после оптимизации
количество кластеров	75	60

Заключение

В качестве методов кластеризации были выбраны и исследованы методы K-means, Mini Batch K-Means и AffinityPropagation.

Методы K-means и Mini Batch K-Means подходят для большого набора данных и имеют хорошую скорость работы, но для решения нашей задачи не вполне пригодны из-за особенностей алгоритмов поиска кластеров

Метод AffinityPropagation в настоящее время исследуется, для него стало возможным сократить количество получаемых кластеров на 20%.

Работа выполнена по гранту КН МОН РК №AP05133366 по теме: Развитие методов оптимизации, ориентированных на широкий класс прикладных задач нанотехнологий (2018-2020 гг.).

Используемые источники

1. Физика конденсированного состояния: уч.пос. / Н.И. Филимонова, Р.П. Дикарева. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. — 136 с.

2. Scikit-learn: Machine Learning in Python, Pedregosa et al., JMLR 12, pp. 2825-2830, 2011.

3. Brendan J. Frey and Delbert Dueck, “Clustering by Passing Messages Between Data Points”, Science Feb. 2007

4. L. Dalcin, P. Kler, R. Paz, and A. Cosimo, Parallel Distributed Computing using Python, Advances in Water Resources, 34(9):1124-1139, 2011. http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.04.013

5. L. Dalcin, R. Paz, M. Storti, and J. D’Elia, MPI for Python: performance improvements and MPI-2 extensions, Journal of Parallel and Distributed Computing, 68(5):655-662, 2008. http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2007.09.005

6. L. Dalcin, R. Paz, and M. Storti, MPI for Python, Journal of Parallel and Distributed Computing, 65(9):1108-1115, 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2005.03.010

7. Лурье С.А., Посыпкин М.А., Соляев Ю.О. Метод идентификации масштабных параметров градиентной теории упругости на основе численных экспериментов для плоских композитных структур //International Journal of Open InformationTechnologies, 2015. Т. 3. No 6. С. 1-6.

8. Ю.Г. Евтушенко, С.А. Лурье, М.А. Посыпкин, Ю.О. Соляев. Применение методов оптимизации для поиска равновесных состояний двумерных кристаллов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2016. Т. 56. No 12. С.50-59.

9. Амирханова Г.А., Горчаков А.Ю., Дуйсенбаева А.Ж., Посыпкин М.А. Применение метода точных штрафных функций к задаче минимизации энергии

плоского кристалла // Материалы XIV Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» 20-31 июля 2018 года. — Алматы, 2018. — Ч. 1 — С. 107–113.

10. Амирханова Г.А., Дуйсенбаева А.Ж. Сравнение двух вариантов метода мультистарта // Матер. науч. конф. «Инновационные IT и Smart-технологии», посвященной 70-летнему юбилею профессора Утепбергенова И.Т. (20 марта 2019 г). — Алматы: ИИВТ МОН РК, 2019. — С. 304–309.

ОБЗОР МЕТОДОВ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т.
e-mail: aat.78@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация

Сбор высококачественных данных о трафике является одним из основных требований для изучения трафика. Нет сомнений в том, что данные о трафике являются основным источником для любых видов транспортных и транспортных проектов, и эти данные обязательно должны быть надежными и точными. Ручной метод сбора данных включает в себя использование огромного количества человеческих ресурсов, и при сборе данных существует относительно больше шансов на ошибки. Технологические достижения позволили значительно улучшить сбор данных о дорожном движении. В этой статье представлен обзор методов сбора данных для интеллектуальных транспортных систем.

Введение

Транспорт является совокупностью средств, предназначенных для перемещения людей, грузов из одного места в другое, а также представляет собой отрасль материального производства, обеспечивающей жизненно необходимую потребность общества в перемещении. С течением времени транспорт сталкивается со многими проблемами, такими как высокий уровень аварийности, пробки на дорогах, загрязнение воздуха в результате дорожного движения и выбросов углекислого газа и т.д. Из-за такой сложности исследователи интегрируют виртуальные технологии с транспортом, который известен как интеллектуальная транспортная система.

Аналитика данных

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют важную роль в глобальном мире. Интеллектуальная транспортная система (ИТС) - это общепринятая система для разработки технологий следующего поколения. Это новая область, которая взаимодействует в различных областях транспортной

системы, таких как управление перевозками, управление услугами, инфраструктура, операции, политики и методы контроля и т.д. Существует широкий спектр возмещения, полученного в результате развертывания ИТС. Интеллектуальная транспортная система может играть важную роль в снижении рисков, высокой аварийности, заторов на дорогах, выбросов углерода и загрязнения воздуха. С другой стороны, повышается безопасность и надежность, скорость движения, интенсивность движения и довольные путешественники на всех режимах. В современных транспортных системах часто бывает [1, 2], что локальные события и особенности перерастают в крупномасштабные ошибки из-за отсутствия прозрачности в информации. Были предприняты шаги для повышения прозрачности путем создания сети адаптивного зондирования, которая позволяет автоматически собирать информацию о дорожных условиях и загруженности. По мере развития таких систем людям будет очень трудно отслеживать большое количество информации. Таким образом, существует необходимость в пространственно-временном алгоритме интеллектуального анализа данных для прогнозов, которые определяют человеческие решения. Для применения алгоритмов интеллектуального анализа данных необходимо выполнить следующие шаги.

1) Сбор данных. Интеллектуальная транспортная система способна собирать различную дорожную информацию, начиная с количества транспортных средств, проезжающих определенную точку, и их средней скорости. Технология ИТС может отслеживать местоположение транспортных средств через мобильные телефоны или спутниковые системы.

2) Передача и обработка данных: после сбора ИТС может передавать данные центральным подразделениям, где они агрегируются и преобразуются в информацию, используемую для определения будущих действий.

3) Информированное принятие решений: эти обработанные данные могут затем применяться различными способами для обеспечения эффективной работы дорожных сетей. Например, дорожный оператор может использовать данные ТС в контексте управления шоссе; или пользователь дороги, с другой стороны, может изменить свой маршрут после получения обновленной информации о движении.

Эта статья в основном посвящена различным методам сбора данных, преимуществам и недостаткам. Сбор данных - это процесс сбора и измерения информации по интересующим переменным в установленной систематической форме, которая позволяет одному пользователю отвечать на поставленные вопросы исследования, проверять гипотезы и оценивать результаты. Существует [3] три различных метода сбора данных для ИТС, а именно: сбор данных на площадке, сбор данных с плавающего автомобиля и сбор данных по всему миру. Каждый из них имеет различные технические характеристики и принципы работы, которые включают в себя структуру точности измерения данных и покрытие сети.

Техника сбора данных на основе сайта

Данные о дорожном движении измеряются с помощью датчиков [4], которые расположены вдоль обочины дороги с использованием различных технологий и методов применения. Например, индуктивные магнитные петли, пневматические дорожные трубки, пьезоэлектрические петлевые матрицы и микроволновые радары

используются в течение многих лет. Новые датчики вышли с передовыми технологиями, которые являются гибкими, многофункциональными и экономически эффективными. Примерами таких датчиков являются ультразвуковые и акустические сенсорные системы, автомобильные детекторы на магнитометре, инфракрасные системы, детекторы освещения LIDAR, определение дальности и обработки видеоизображений. Некоторые из методов сбора данных на сайте описаны ниже.

а) Видеографический метод. В этом методе [4,9] данные собираются с использованием камеры видеонаблюдения. Для обеспечения точности данных отснятый материал может быть проверен по мере необходимости. Для крепления камеры выбирается подходящая точка обзора, чтобы в лучшем случае покрыть интересующий участок дороги. На требуемое время записывается выбранный отрезок. Затем он обрабатывается либо посредством обработки изображений, либо путем подсчета вручную, а иногда и путем квази-ручного подсчета.

б) Метод сбора данных на основе инфракрасного излучения. Это система наблюдения за дорожным движением, которая работает по принципу воздействия инфракрасных лучей. Инфракрасный регистратор трафика состоит из одного передатчика и одного приемника. Они должны быть размещены на краях проезжей части. Передатчик излучает инфракрасные лучи, приемник принимает луч. Используя новую технологию на основе света, приемник считает, классифицирует и определяет полосы, перекрытие луча дает четыре различных пути света. При этом две параллельные балки и две скрещенные балки. Каждое колесо транспортного средства прерывает каждый из четырех лучей, когда оно проходит между передатчиком и приемником. Разрушение этих лучей известно, как событие луча. Чтобы вычислить точную скорость и полосу движения транспортных средств, используется точное время обнаружения события луча. Направление движения транспортного средства определяется на основании порядка, в котором происходят события перерыва. По ширине оси автомобили классифицируются. Они классифицируются как велосипеды двухколесные и трехколесные, тракторы, тракторы с прицепами, SCV (двухосные малотоннажные автомобили), LMV (двухосные легкие автомобили), LCV (двухосные легкие коммерческие автомобили), MCV (двухосные жесткие: грузовик или автобус), HCV (трехосный грузовик или автобус), HCV (трехосный сочлененный грузовик или автобус), MAV (грузовик с жесткой рамой), MAV (сочлененный грузовик) и OSV (негабаритный грузовик).

Преимущества сбора данных на сайте:

- Видеографический метод и метод сбора данных на основе инфракрасного излучения значительно сокращают рабочую силу;
- Видеографический метод также повышает точность сбора данных.

Недостатки сбора данных с сайта:

- Покрытие ограничено;
- Стоимость внедрения и обслуживания.

Альтернативные источники данных, такие как «плавающие данные о машине», представляют собой многообещающее экономически эффективное решение, позволяющее справиться с некоторыми ограничениями со стороны стационарных детекторов. Это улучшило бы управление трафиком, а также помогло бы

удовлетворить растущий спрос водителей, которые готовы платить поставщикам услуг, если у них есть доступ к актуальной информации в режиме реального времени: будут ли какие-либо заторы на моем обычном маршруте сегодня? Как этого избежать? Если нет, то как долго это продлится? и т.д. Такие вопросы требуют, чтобы данные о трафике были точными, надежными, своевременными и максимально полными.

Данные плавающей машины / данные плавающей сотовой связи

Сбор данных с плавающей машины [5] представляет собой набор относительно недорогих методов получения данных о времени и скорости движения транспортных средств, движущихся по улицам, автомагистралям, автомагистралям (автострадам) и другим транспортным маршрутам. Вообще говоря, три метода были использованы для получения необработанных данных:

а) Метод триангуляции. В середине 2000-х годов мобильные телефоны использовались в качестве анонимных пробников трафика. Сигнал любого мобильного телефона, находящегося в транспортном средстве, движется по мере движения автомобиля. Используя триангуляцию, данные сети измеряются и анализируются с помощью сопоставления с образцом или статистики сотового сектора (в анонимном формате), данные будут преобразованы в информацию о потоке трафика. Чем больше заторов, тем больше машин, больше телефонов. Теоретически, точность увеличивается, когда расстояние между антеннами меньше.

Преимущество: нет необходимости строить инфраструктуру вдоль дороги; используется только сеть мобильной связи. Недостаток: этот метод сложен, особенно в областях, где одни и те же вышки мобильных телефонов обслуживают два или более параллельных маршрута. К началу 2010-х популярность метода триангуляции снижалась.

в) Повторная идентификация автомобиля. Этот метод требует набора детекторов, установленных вдоль дороги. В этом методе уникальный серийный номер для устройства в транспортном средстве обнаруживается в одном месте, а затем снова обнаруживается (повторно идентифицируется) дальше по дороге. Сравнивая время, в которое конкретное устройство обнаруживается парами датчиков, рассчитывается время в пути и скорость. Это можно сделать с помощью MAC-адресов от Bluetooth или других устройств, или с помощью серийных номеров RFID от приемоответчиков Electronic Toll Collection (ETC).

с) GPS-методы. Все большее количество транспортных средств оснащаются бортовой спутниковой навигацией / системами GPS, которые имеют двустороннюю связь с поставщиком данных о движении. Для расчета скорости транспортного средства используются показания положения транспортных средств. Современные методы могут не использовать выделенное оборудование, а вместо этого использовать смартфон.

Интеллектуальный мониторинг на основе смартфонов используется для отслеживания скорости и плотности трафика. Чтобы узнать скорость движения и качество дороги, водители используют данные акселерометра со смартфонов. Аудиоданные и GPS-маркировка смартфонов позволяют определять плотность трафика и возможные пробки.

Преимущества данных плавающей машины:

- Стоимость низкая по сравнению с датчиками или камерами;
- Включая все места и улицы, это дает больше охвата;
- Настройка быстрее, а обслуживание меньше;
- Работает в любых погодных условиях, включая сильный дождь.

Примерами датчиков FCD являются: распознавание номерного знака (LPR), приемоответчики с автоматической идентификацией транспортных средств (AVI), включая транспортные средства-зонды и электронные дорожные знаки.

Недостаток данных плавающей машины:

- Задержка больше;
- Уровень заторов больше.

Глобальный сбор данных

Этот метод направлен на реализацию возможностей мониторинга потока трафика по всему миру на основе мультисенсорных опций отслеживания, таких как фотограмметрическая обработка. Используемые датчики [8] - это спутниковые датчики, считыватели RFID, микрофоны, акселерометры и т.д.

а) Спутниковые датчики

Этот вид датчиков обеспечивает фотографии, аэрофотоснимки и изображения. Затем они обрабатываются с помощью фотограмметрической обработки. Фотограмметрическая обработка - это наука и технология проведения измерений. Измерения снимаются с перекрывающихся пар фотографий с использованием стерео. Ориентация и триангуляция являются основными задачами фотограмметрической обработки. Ориентация - это процесс создания стерео-модели, подходящей для просмотра и извлечения трехмерных векторных координат, которые описывают географические объекты. Триангуляция (также называемая «регулировкой блока») используется для объединения набора изображений в единую модель, что позволяет получать точную и согласованную информацию с больших площадей. Орто-изображения - это изображения, исправленные с учетом изменений местности с использованием матрицы высот.

Преимущество: Фотограмметрический метод является очень экономичным методом сбора данных, который иногда является единственным практическим методом получения подробных топографических данных.

Недостаток: обычно невозможно одновременно иметь и очень высокое спектральное, и пространственное разрешение [11].

б) RFID технология

Технология RFID - это простой метод обмена данными между двумя объектами, а именно считывателем / записывающим устройством и меткой. Это сообщение позволяет определить информацию о теге или элементе, несущем тег, и таким образом облегчает управление процессами.

Преимущество: отслеживание транспортных средств - технология RFID может использоваться для определения того, когда транспортные средства прошли определенные точки, и таким образом их местоположение может быть приблизительно определено.

Недостаток: RFID - дорогая технология.

с) Выделенная связь на короткие расстояния (DSRC). DSRC [6] является подмножеством технологии радиочастотной идентификации (RFID). DSRC - это канал беспроводной связи ближнего и среднего радиуса действия, работающий в беспроводном спектре 5,8 или 5,9 ГГц, специально разработанный для автомобильной промышленности. Важно отметить, что DSRC обеспечивает двустороннюю беспроводную связь между транспортным средством (через встроенные метки или датчики) и придорожным оборудованием (RSE).

Преимущество: DSRC является ключевой технологией для многих интеллектуальных транспортных систем, включая интеграцию между транспортными средствами, связь между транспортными средствами, адаптивную синхронизацию сигналов дорожного движения, электронный сбор платы за проезд, взимание платы за заторы, электронные дорожные тарифы, предоставление информации и т.д.

Недостаток: DSRC также дорогая технология.

д) Мобильная связь. Приложения ИТС могут передавать информацию по стандартным сетям мобильной телефонной связи третьего или четвертого поколения (3G или 4G). Мобильные телефоны имеют акселерометр, который измеряет его наклонное движение и ориентацию.

Преимущество: его широкая доступность в городах и вдоль основных дорог. Однако может потребоваться дополнительная пропускная способность сети, если автомобили оснащены этой технологией, и операторам сети может потребоваться покрыть эти расходы.

Недостаток: Мобильная телефония может не подходить для некоторых критически важных приложений ИТС, поскольку она может быть слишком медленной.

Совсем недавно появились новые технологии как со стороны дорожной инфраструктуры, так и со стороны транспортных средств, в первую очередь, для сотрудничества между транспортными средствами и инфраструктурой. Эти идентифицируемые транспортные средства, оснащенные устройствами беспроводной связи, могут обмениваться данными о мобильности друг с другом и с придорожными устройствами.

Наконец, беспроводная ячейка также предоставляет важные данные о мобильности, касающиеся интенсивности и времени движения мобильных телефонов вдоль дорожной сети. Вдоль дороги технологии, основанные на навязчивых или неинтрузивных методах, показали необходимость, но не достаточную из-за их ограниченного охвата и дорогостоящих затрат на внедрение и обслуживание. В последние годы появилось несколько источников, основанных на инновационных методах и моделях. Сочетая в себе преимущества данных плавучего автомобиля и данных о большой площади, предлагается инновационный метод. Это глобальная сеть, оборудованная бортовыми транспортными средствами и бортовыми датчиками, которая называется ITS Probe Vehicle System.

Транспортные средства или устройства

Транспортные средства, оснащенные DSRC или другими беспроводными технологиями, которые сообщают о своей скорости и местонахождении в

центральный центр управления движением, называемый [7,10] Probe Vehicles. Эти данные зондирования агрегируются для формирования картины потока трафика по всей области и для определения перегруженных мест. Также были проведены обширные исследования использования мобильных телефонов, которые водители часто используют в качестве механизма для генерации информации о дорожной обстановке в реальном времени, с использованием местоположения телефона, полученного с помощью GPS, во время движения вместе с транспортным средством.

Преимущества систем зондовых транспортных средств ИТС:

- Низкая стоимость за единицу данных;
- Непрерывный сбор данных;
- Автоматический сбор данных;
- Данные в электронном формате;
- Нет нарушения трафика.

Недостатки систем зондовых транспортных средств ИТС:

- Высокая стоимость внедрения;
- Изменение ограничения инфраструктуры;
- Требуются квалифицированные разработчики программного обеспечения;
- вопросы конфиденциальности;
- Не рекомендуется для небольших сборов данных.

Типы систем сбора данных транспортных средств ИТС Probe:

1. Автоматическое определение местоположения транспортных средств (AVL) на основе указателей. Этот метод чаще всего используется транзитными агентствами. Зондовые транспортные средства связываются с передатчиками, установленными на существующих конструкциях указателей.

2. Автоматическая идентификация транспортных средств (AVI): транспортные средства зондов оснащены электронными бирками. Эти метки связываются с придорожными трансиверами, чтобы идентифицировать уникальные транспортные средства и собирать время в пути между трансиверами.

3. Наземная радионавигация. Часто используемая для управления транзитным или коммерческим парком, эта система аналогична глобальной системе позиционирования (GPS). Данные собираются посредством связи между транспортными средствами-зондами и инфраструктурой радиовышки.

4. Географическое положение сотовой связи: эта экспериментальная технология может собирать данные о времени в пути путем дискретного отслеживания передач по сотовому телефону.

5. Глобальная система позиционирования (GPS). Зондовые аппараты [12] оснащены приемниками GPS и двусторонней связью для приема сигналов от спутников на околоземной орбите. Позиционная информация, определенная из сигналов GPS, передается в центр управления для отображения в реальном времени местоположения транспортных средств-зондов. Информация о времени в пути может быть определена из собранных данных.

Заключение

В последние годы появилось несколько источников, основанных на инновационных методах и моделях. Одним из таких методов является его зонд транспортных средств. Транспортные средства зондов оснащены встроенными GPS-

приемниками в транспортных средствах. Бортовые устройства получают сигналы от нескольких различных спутников для расчета положения устройства (и, следовательно, транспортного средства). Позиционная информация передается на сервер управления для дальнейшего анализа. Сервер обрабатывает данные с использованием различных алгоритмов и предоставляет информацию пользователям ИТС.

Литература

1. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения/ Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 279с.
2. Жанказиев, С.В. Зелёная волна. Система автоматизированного управления дорожным движением АСУ-ДД/В.М. Власов// Журнал Столичное качество строительства. - М., 2008. - № 01. - с. 56-60.
3. R.Prabha and Mohan G Kabadi. Cyber-physical Control for Smart Transportation: A Review. International Journal of Engineering Research, volume 4, special issue 4.
4. Qureshi, Kashif Naseer, and Abdul Hanan Abdullah. A survey on intelligent transportation systems. Middle-East Journal of Scientific Research 15.5 (2013): 629-642.
5. J.Lopes et al. Traffic and Mobility Data Collection for Real Time Application. 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira Island, Portugal, Sep 19-22, 2010.
6. S.Kalaanidhi et al. Review of Data Collection Methods for Establishing the capacity of Intercity Highway.
7. Guillaume Leduc. Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, JRC European Commission.
8. Stephen Ezell. Intelligent Transportation Systems, The Information Technology and Innovation Foundation, Jan 2010.
9. Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, Deployment and lessons learned, U.S. Department of Transportation, Research and Innovative Technology Administration 2008 Update.
10. Suman Nath et al. Adaptive Data Placement for wide area Sensing Services.
11. Traffic Data Collection and Analysis – Roads Department, Botswana.
12. Travel Time Data Collection Hand book, Texas Transportation Institute.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН КРЕДИТОВАНИЯ

Байсалбаева[*1] К.Н., Амирханова[2] Г.А., Балтабеков[1] А.К.
e-mail: k.bais@mail.ru

[1]Алматинская академия экономики и статистики, Алматы, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Разработаны программы на языке JavaScript для моделирования части бизнес процесса кредитования, связанного с принятием решения по кредиту. Программными средствами была построена система автоматического онлайн кредитования. Было показано, что система может повторять логику кредитования с очень большой точностью.*

Результаты работы могут оказаться полезными для интеграции в бизнес процесс кредитования в банках.

Введение. Инновационные технологии все больше используются в повседневной жизни каждого обывателя, мы привыкли к быстрому и удобному обслуживанию посредством использования интернет и мобильных телефонов.

В Казахстане на данный момент наибольшее проникновение финтех-решений наблюдается в таких направлениях, как платежи [1], дистанционное банковское обслуживание и онлайн кредитование [2]. На рынке платежных услуг финтех-компании занимаются обработкой электронных платежей и развивают сервисы на базе мобильных приложений. Национальным Банком Казахстана на настоящее время зарегистрировано 30 платежных организаций, обороты которых составили за 9 месяцев 2017 года 538,3 млрд. тенге [3].

В банковской отрасли банками уделяется значительное внимание развитию удаленного сервиса, расширению сервисов Интернет и мобильного банкинга. Так, объем операций, проведенных через дистанционные каналы связи и электронные терминалы, за последние пять лет вырос более чем в 2 раза и составил в 2016 году 12,4 трлн. тенге. Объем безналичных платежей и переводов денег, проведенных с использованием интернет и мобильного банкинга, вырос за последний год более чем в 2,3 раза и составил 934,0 млрд. тенге [4].

Следует отметить работу «цифровых» банковских сервисов: Altyn-i, Homebank.kz, B1NK, Kaspi.kz., 24bankastana.kz, Сбербанк онлайн, которые предлагают клиентам услуги дистанционного открытия банковских счетов, идентификации посредством видеосвязи, одобрения кредита и проведения платежей и переводов денег в режиме онлайн. Банковская деятельность в условиях рыночной экономики и конкуренции связана с риском. Автоматизация кредитных процессов позволяет уменьшить риск, минимизировать возможные затраты и, таким образом, повысить эффективность деятельности.

Данная система должна обеспечивать быстроту и удобство за счет онлайн проведение кредита. Актуальность темы заключается в этом.

В процессе работы были изучены современные проблемы, связанные с кредитованием клиентов:

- ✓ изучение автоматизированной системы на основе анализа экономико-информационной среды, применения новых технических средств сбора, передачи, обработки и выдачи информации;

- ✓ совершенствование информационной базы предметной области на основе новых методик и концепций;
- ✓ новые автоматизированные решения комплексов управленческих и экономических задач;

Методы

В качестве методов исследования используются модели, методы проектирования и средства, обеспечивающие выполнение процессов жизненного цикла программного обеспечения автоматизированных систем управления, для класса типовых объектов – онлайн кредитования.

Результаты и обсуждение

Очевидно, что сегодня без автоматизации бизнеса нельзя сохранить конкурентоспособность, и поэтому практически во всех банках и кредитных учреждениях внедрялись, и продолжают внедряться те или иные информационные системы.

Кредитные отношения – один из наиболее важных аспектов современной экономической деятельности. Эффективность кредитной системы обуславливает успешное развитие производства и социально-экономического прогресса.

При помощи кредита сокращается время на удовлетворение хозяйственных потребностей. Предприятие – заемщик за счет дополнительных средств имеет возможность увеличить свои ресурсы, расширить хозяйство, ускорить достижение производственных целей. Таким образом, кредит выступает опорой современной экономики и неотъемлемой частью экономического развития. Его используют как крупные предприятия и объединения, так и малые производственные, сельскохозяйственные и торговые структуры.

Доходы от кредитных операций являются основным источником прибыли. Однако невозврат кредитов может привести к банкротству. Именно поэтому так важно подобрать для каждого клиента правильный кредитный продукт, а также заранее распознать проблемного заемщика.

В настоящее время в большинстве банков этим занимаются кредитные специалисты. Их задача состоит в оценке информации о заемщике, такой как ежемесячный доход, пол, возраст и.т.д. Согласно этим и многим другим критериям кредитные специалисты оценивают благонадежность заемщика и подбирают наиболее подходящие правила кредитования.

Выбор кредитных продуктов органичен небольшим, заранее утвержденным набором продуктов. В связи с этим каждому индивидуальному заёмщику выдается один из вполне стандартных кредитов. Этот подход не является эффективным, так как не учитываются особенности заемщика, при выдаче кредита, а как следствие банк не получает максимально возможной прибыли от кредитования.

Но, к сожалению, имеется ряд недостатков в организации работы банков. Выдавая кредиты, работник кредитной службы должен помнить, что каждый кредит имеет свой уровень риска, и что ни один банк не сможет продолжать свою деятельность, если откажется от выдачи кредитов с высоким уровнем риска. Необходимо разумно выбирать каких клиентов стоит кредитовать, а каких нет.

В первую очередь банки должны более серьезно относиться к оценке финансового состояния кредитополучателя. Анализ кредитоспособности позволяет на ранней стадии кредитного процесса спрогнозировать риск и практически полностью предотвратить всевозможные потери. Следует заметить, что существующие методики определения кредитоспособности основываются на анализе бухгалтерского баланса заемщика, однако совокупность данных расчетов не всегда отражает действительную ситуацию финансового положения. В иностранных государствах решить эту проблему помогает широкая сеть независимых аудиторских фирм, чье объективное заключение о финансовом состоянии потенциальных заемщиков облегчает работу банков. В нашей же стране аудиторское дело находится лишь на стадии становления [5].

Для решения этой проблемы нами исследованы деятельность ТОО prodengi.kz.

Когда заходим на сайт на экране появляется главное окно программы (рис. 1).

Рис. 1 – Главное окно программы онлайн кредитования

Выбираем из меню оставьте заявку, появляется вот такое окно (рис. 2)

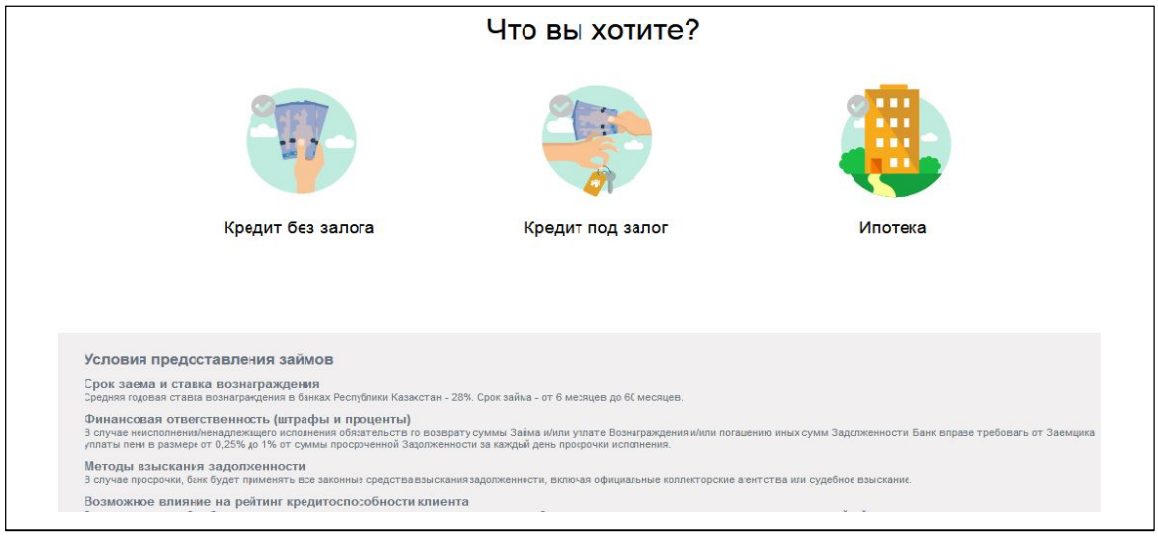


Рис.2 – Окно меню *Оставьте заявку*

Когда выбираем пункт кредит без залога появляется вот такое окно (рис. 3).

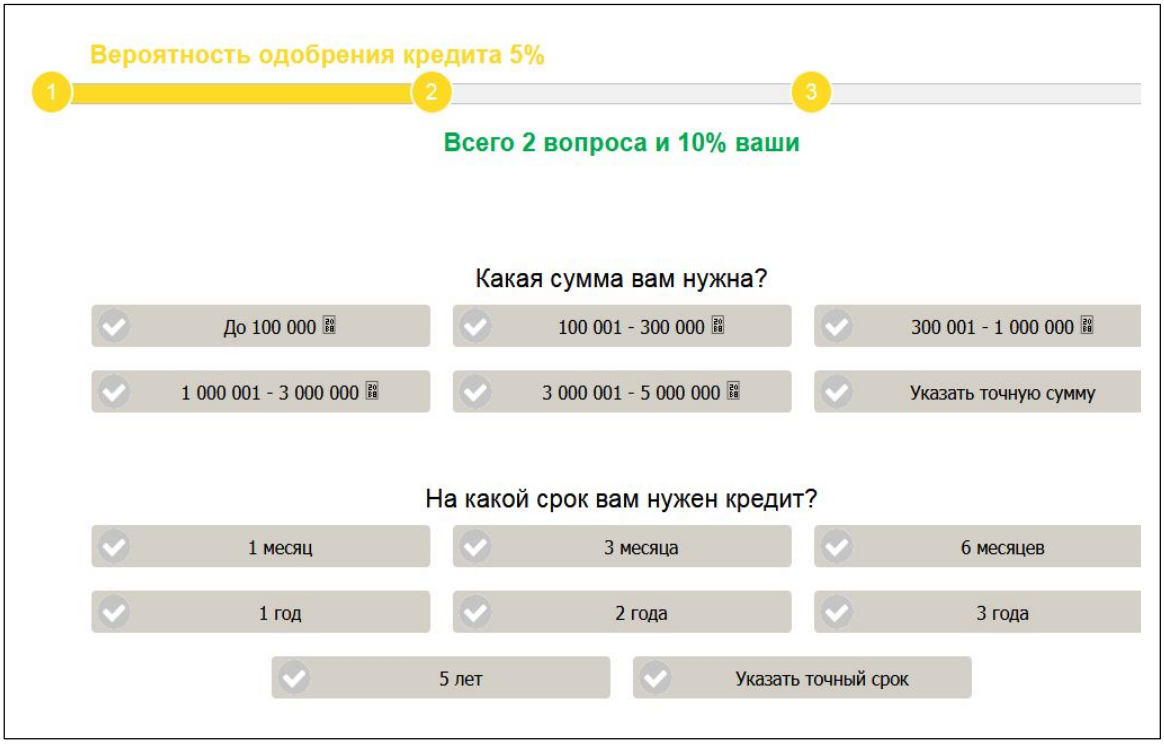


Рис. 3 – Окно меню *Кредит без залога*

Теперь заполняем. Например, выбираем от 300 001 – 1000 000 и укажем точную сумму *500 00*0, еще на какой срок *6 месяцев* тогда появляется второе диалоговое окно с информацией «Вероятность одобрения кредита 15%» и с вопросами *Стаж работы на последнем месте*, *Наличие пенсионных отчислений, Размер официальной заработной платы, Размер дополнительного дохода. О*

Ответив на эти вопросы, нажимаем кнопку *Вперед*

Появляется следующее окно *Вероятность одобрения кредита 35%* с вопросами *Были ли кредиты ранее? Есть кредиты сейчас?*

Отвечаем на вопросы, выходит окно с сообщением *Кредит одобрен на 50%.* Далее надо будет вводит личные данные.

ИИН нужно обязательно вводит правильно, потому что, по ИИН проверяется личность человека и его история кредита.

После заполнения этого окна нажимаем на кнопку ***Узнать решение***.

Если все данные подтвердятся, через некоторое время оператор вам позвонит и скажет в каком банке можете получить кредит. Идете в указанный банк или по вашему выбору на карточку перечисляют деньги.

В главном окне пункты меню *Кредит под залог* и *Ипотека* тоже работают по такому принципу.

Информационная система под названием «leadeffect.kz» разработана для компаний «ТОО prodengi.kz» и выполняет работу по онлайн кредитованию.

«ТОО prodengi.kz» далее prodengi. Prodengi это - онлайн прайс-агрегатор созданный для потребителей финансовых услуг Казахстана в 2009 году. Специально разработанные сервисы портала быстро сравнивают лучшие предложения банков, МФО и онлайн кредиторов Казахстана: депозиты, потребительские кредиты, ипотечные и автокредиты. Prodengi.kz входит в топ-5 финансовых сайтов Республики Казахстан.

Сайт на данный момент доступен по адресу https://leadeffect.kz\.

Заключение

В заключении хотелось бы еще раз подчеркнуть большое практическое значение настоящего исследования.

Подводя итог проделанной работе, хочется отметить успешное выполнение поставленной цели: разработана автоматизированная система выдачи онлайн кредитования. В данной работе были подробно рассмотрены этапы разработки ПО по выдачи онлайн кредита. Было произведено описание требований к информационной системе в целом, к функциям и ограничениям.

С помощью вариантов использования была рассмотрена функциональность системы, описана последовательность действий, которые может осуществлять система в ответ на внешние воздействия пользователей или других программных систем. Каждый вариант использования показывает, как конкретный фактор использует систему.

По данной работе руководителем организации ТОО «prodengi.kz» Сидоровым А.В. подписан *АКТ о внедрении результатов работы студента Алматинской академии экономики и статистики Балтабекова Абылая Куашышбекулы на тему: «Разработка информационной системы для обеспечения онлайн кредитования», научный руководитель: Байсалбаева Куляш Нарзилдаевна, PhD по специальности*

Информатика, доцент кафедры «Информационные системы и общеобразовательные дисциплины».

Литература:

1. Финтех революция в Казахстане, 27.06.2017 года, Дидар Арыстан, https://www.kursiv.kz/examination/blog/finteh-revolucia-v-kazahstane/.
2. Карта Fintech рынка Казахстана,https://rb.ru/fintech-kz/.
3. Обзор результатов надзора (оверсайта) платежных систем и развития рынка платежных услуг за 9 месяцев 2017 года, www.nationalbank.kz.
4. Обзор результатов надзора (оверсайта) платежных систем и развития рынка платежных услуг за 2016 год, www.nationalbank.kz.
5. Битков В.П. Основы банковского дела. Часть 1. Учебное пособие. - М.: МГИМО - Университет МИД России, 2005. - 104с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СИСТЕМУ СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ (СООРУЖЕНИЯ), ФУНДАМЕНТА И ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Бодесова А., Ахметов Б.С.
e-mail: aidana9596@bk.ru
Университет «ТУРАН»

Аннотация. *Человек в своей жизнедеятельности не может отказаться ни от использования природы, ни от изменения компонентов природы, ни от научно-технического прогресса. Следовательно, необходимо познание и использование в практической деятельности законов формирования и функционирования особых социоприродных или, по географической терминологии, техноприродных систем. Необходимо научное обоснование синтеза природных процессов и деятельности человека. Законы формирования, функционирования и развития техноприродных систем не являются ни чисто природными, ни чисто социальными, они дают знания об особых процессах при взаимодействии человека и природы. Учет этих законов как раз и должен обеспечить коэволюцию, т. е. совместное развитие природы и человеческого общества.*

В этой статье рассмотрим воздействие различных природных сил на систему состоящей из здания (сооружения), фундамента и грунтового основания.

В процессе строительства и эксплуатации здание испытывает на себе действие различных нагрузок. **Внешние воздействия** можно разделить на два вида: **силовые** и **несиловые** или воздействия среды.

К **силовым** воздействиям относятся различные виды нагрузок:

Постоянные– от собственного веса (массы) элементов здания, давления грунта на его подземные элементы;

Временные (длительные) – от веса стационарного оборудования, длительно хранящихся грузов, собственного веса постоянных элементов здания (например, перегородок);

Кратковременные – от веса (массы) подвижного оборудования (например, кранов в промышленных зданиях), людей, мебели, снега, от действия ветра;

Особые – от сейсмических воздействий, воздействий в результате аварий оборудования и т.п.

К **несиловым** относятся:

Температурные воздействия, вызывающие изменения линейных размеров материалов и конструкций, которое приводит в свою очередь к возникновению силовых воздействий, а также влияющие на тепловой режим помещения;

Воздействия атмосферной и грунтовой влаги, а также парообразной влаги, содержащейся в атмосфере и в воздухе помещений, вызывающие изменение свойств материалов, из которых выполнены конструкции здания;

Движения воздуха вызывающее не только нагрузки (при ветре), но и его проникновение внутрь конструкции и помещений, изменение их влажностного и теплового режима;

Воздействие лучистой энергии солнца (солнечная радиация) вызывающие в результате местного нагрева изменение физико-технических свойств поверхностных слоев материала, конструкций, изменение светового и теплового режима помещений;

Воздействие агрессивных химических примесей, содержащихся в воздухе, которые в присутствии влаги могут привести к разрушению материала конструкций здания (явлении коррозии);

Биологические воздействия, вызываемые микроорганизмами или насекомыми, приводящие к разрушению конструкций из органических строительных материалов;

Воздействие звуковой энергии (шума) и вибрации от источников внутри или вне здания.

По месту приложения усилий **нагрузки** разделяются на **сосредоточенные** (например, вес оборудования) и **равномерно распределенные** (собственный вес, снег).

По характеру действия нагрузки могут быть **статическими**, т.е. постоянными по величине во времени и **динамическими** (ударными).

По направлению – горизонтальные (ветровой напор) и вертикальные (собственный вес).

То на здание действует самые различные нагрузки по величине, направлению, характеру действия и месту приложения.

При отрицательных температурах основания под фундаменты, состоящие, в основном, из глинистых и пылеватых грунтов, мелких и среднезернистых песков, промерзают, что может вызвать увеличения их объема – пучение грунтов. В таких грунтах вода по капиллярам и порам поднимается над уровнем грунтовых вод и находится в связанном виде. Связанная вода замерзает не сразу и по мере замерзания перемещается из зон толстых оболочек в зоны с оболочками меньшей толщины; это объясняется подсасыванием воды из нижних слоев в зону замерзающего грунта. При

этом объем увеличивается и при температуре –22 °С давление от льда достигает 20 Па, что вызывает разрушение материала фундаментов и вышележащих стен.

Результаты исследований показывают, что при промерзании особенно пылеватых, суглинистых и глинистых грунтов сильно нарушается их структура: весь массив промерзшего грунта пронизывается включениями, прослойками и линзами льда, связь в контактах минеральных частиц нарушается, происходит свертывание коллоидной части дисперсных грунтов, часть связанной воды при последующем оттаивании переходит в воду свободную.

Линзы и прослойки льда в определенных условиях могут образовываться настолько мощными, что в сумме будут составлять слой, больший слоя промерзшего грунта. При оттаивании ледяных прослоек создается местное переувлажнение грунта, которое чрезвычайно понижает его прочность. Наряду с этим оттаивание мелких и мельчайших включений льда также создает условия, уменьшающие сопротивление грунта сдвигающим усилиям, повышает его водопроницаемость и обусловливает неустойчивость структуры при оттаивании. Грунт, подверженный замораживанию и последующему оттаиванию, приобретает взрыхленную структуру, что обусловливает дополнительную его осадку под нагрузкой.

Процесс промерзания грунтов сопровождается изменением их начальной влажности: в глинистых грунтах влажность увеличивается; в водонасыщенных песках (при промерзании в открытой системе) начальная влажность уменьшается, а в малоувлажненных – увеличивается.

Вода в грунте основания независимо от того, является ли она поверхностной, грунтовой или капиллярной, всегда создает опасность промерзания грунта из-за повышения его теплопроводности при увлажнении. Поскольку при замерзании влаги и дополнительном подсосе, вызванном замерзанием, содержание ее в грунте увеличивается на 5–10 % и более, при резком оттаивании грунт нередко полностью разжижается и теряет свою несущую способность. Положение усугубляется, если весной в основание поступают еще и талые воды. В таких случаях более опасным становится даже не само пучение, а его последствия – деформации при оттаивании увлажненного основания.

Согласно данным исследований проф. С. С. Вялова, сопротивление мерзлого грунта при длительном действии нагрузки (длительное сопротивление) в несколько раз меньше его сопротивления мгновенно действующей нагрузки. Эта особенность мерзлых грунтов, по мнению Н. А. Цытовича, объясняется главным образом свойствами льда, содержащегося в мерзлых грунтах и цементирующего минеральные частицы грунтов. При длительном действии нагрузки лед медленно, но беспрерывно течет, что в значительной степени и обусловливает пластичность и текучесть дисперсных грунтов.

Промерзание и выпучивание грунтов опасны только для наземных сооружений, поскольку уже на глубине примерно 1,5 м от поверхности нет разницы в колебаниях дневной и ночной температур, а на глубине 10–30 м не ощущается изменение зимних и летних температур. Некоторые конструкции, например, цокольные части зданий, находятся в зоне переменного увлажнения и периодического замораживания. Отрицательная температура (если она ниже расчетной или не приняты специальные меры для защиты конструкций от

увлажнения), приводящая к замерзанию влаги в конструкциях, разрушающе действует на здания.

При замерзании воды в порах материала объем ее увеличивается, что создает внутренние напряжения, которые все возрастают вследствие сжатия массы самого материала под влиянием охлаждения. Давление льда в замкнутых порах весьма велико – до 20 Па. Разрушение конструкций в результате замораживания происходит только при полном (критическом) влагосодержании, насыщении материала. Вода при замерзании увеличивается в объеме лишь на 10 %. Следовательно, если в порах имеется место для замерзающей влаги, если влажность материала конструкции не превышает 85 %, то давления на стенки не возникает.

Не исключая указанный механизм деструкции бетона при замораживании, ученые Германии развивают идею об ускорении разрушения бетона при замораживании вследствие образования дополнительного количества эттрингита.

При замораживании бетона наблюдаются четыре основных вида процессов:

– быстрое замораживание и оттаивание на воздухе с разрушением бетона вследствие различий в коэффициентах температурного расширения;

– медленное одностороннее замораживание бетона ограждающей конструкции (при положительной температуре внутреннего помещения) с постепенным продвижением фронта вглубь бетона;

– быстрое всестороннее замораживание бетона тонкостенных конструкций с образованием льда в поверхностных слоях, что приводит к «закупорке» воды внутри конструкции и при достаточно высокой степени водонасыщения – к разрушению бетона, проявляющемуся в шелушении его поверхностных слоев;

– одностороннее замораживание пористого материала, в котором возможна миграция воды в парообразном состоянии к холодной поверхности и образование линз льда – аналогично процессу пучения грунта.

Картамышева Нина Сергеевна, Картамышева Елена Сергеевна, Вахрушин Игорь Александрович, Трескова Юлия Владимировна посветили ряд своих работ на решения проблем проектирования и строительства зданий и сооружений в сейсмически активных районах. Особое место занимает вопрос обеспечения прочности, устойчивости, жесткости и безопасности зданий и сооружений, подвергаемых такому типу особых нагрузок. Даже небольшое землетрясение всего в 3–5 баллов может в считанные минуты нанести зданию или сооружению непоправимый ущерб, который повлечет их лавинообразное обрушение и приведет к гибели людей. Поэтому перед проектировщиками и строителями стоит вопрос о том, как сделать так, чтобы здание не только не разрушилось во время данного стихийного бедствия, но и выстояв, получило повреждения, не превышающие своего предельного значения, даже при больших толчках, чем в 3–5 баллов. Способность здания или сооружения противостоять сейсмическим воздействиям называют сейсмостойкостью. Для достижения необходимой сейсмостойкости зданий, строящихся в сейсмических районах, необходимо учитывать, что на конструкции действуют не только обычные нагрузки, но и горизонтальные пульсирующие, возникающие во время землетрясения. Эти нагрузки носят циклический характер и могут действовать в различных направлениях.

Способность здания или сооружения противостоять сейсмическим воздействиям называют сейсмостойкостью. Для достижения необходимой

сейсмостойкости зданий, строящихся в сейсмических районах, необходимо учитывать, что на конструкции действуют не только обычные нагрузки, но и горизонтальные пульсирующие, возникающие во время землетрясения. Эти нагрузки носят циклический характер и могут действовать в различных направлениях. Нормы рекомендуют в целях упрощения расчетов рассматривать только действие горизонтальных сейсмических сил, направленных вдоль осей симметрии, соответствующих наибольшей и наименьшей жесткости здания. Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений достигается осуществлением градостроительных, объемно-планировочных и конструктивных мероприятий. При решении вопросов планировки населенных мест в сейсмических районах рекомендуется территорию зонировать с расчленением незастраиваемыми пространствами (зеленые насаждения, площади, каналы). Это требование носит в основном противопожарный характер, т. е. ограничивает распространение возможных пожаров. Кроме того, нормы предусматривают возможное увеличение (на 15...20 %) ширины улиц и разрывов между зданиями. [4,5] Антисейсмические швы применяют в зданиях с несущими стенами постановкой двойных стен, а в каркасных зданиях — постановкой двойных рам. Ширина швов должна обеспечивать свободное горизонтальное смещение элементов. В фундаментах, если только они не являются одновременно осадочными, швы можно не делать. Фундаменты здания или его отсеков, как правило, необходимо закладывать на одном уровне. Под несущие каменные стены надо применять ленточные фундаменты. При устройстве свайных фундаментов следует отдавать предпочтение сваям-стойкам. В зданиях каркасного типа фундаменты под колонны делают железобетонными, монолитными или сборными, связывая их между собой фундаментными балками Устойчивость и пространственная жесткость зданий с несущими каменными стенами обеспечиваются их соответствующим расположением и усилением их антисейсмическими поясами, которые устраивают по всей протяженности наружных и внутренних стен на уровне перекрытий всех этажей, включая перекрытие над подвалом. Такие пояса выполняют из монолитного или сборного железобетона, или металла (для каменных стен). Монолитные пояса должны иметь непрерывное армирование, а сборные пояса должны быть соединены в жесткую горизонтальную раму сваркой закладных деталей или замоноличиванием выпусков арматуры. Антисейсмические пояса должны иметь ширину, как правило, равную толщине стены. При толщине стены более 500 мм пояса могут быть на 120 мм меньше ширины. Высота пояса чаще всего принимается более 150 мм. В каменных зданиях в пределах отсека конструктивные решения элементов и материалы для них необходимо принимать одинаковыми, а простенки и проемы — одной ширины. В местах примыкания стен укладывают арматурные сетки.

Для достижения более низкого расположения центра масс поперечника здания в покрытиях производственных и общественных зданий (для районов с сейсмичностью 8 и 9 баллов) при пролетах 18 м и более рекомендуется применять металлические фермы и облегченные ограждающие конструкции покрытий. В качестве утеплителя используют эффективные материалы (пенополистирол, стекловату и др.).

Существуют различные способы самоизоляции зданий и сооружений. Они делятся на активные и пассивные.

В работе Ч. Сятин разработано сейсмоизолирующее устройство со скользящим поясом с элементами фторопласта в конструкции фундамента. В результате всех произведенных расчетов и моделирования работы данной системы при амплитуде 9 баллов Сятин получил, что:

1) Прогибы плит для разных этажей составили не более 25 мм, что не превышает допустимых значений l/200=30 мм;

2) Прогиб верха здания составляет 50 мм, что также находится в пределах нормы H/1000=75 мм;

3) Значительно снизились перемещения по направлению X и по направлению Y для разных форм колебания. В результате сейсмоизоляции периоды колебаний увеличиваются, то есть собственные частоты падают, происходит снижение сейсмической нагрузки;

4) В элементах конструкций происходит снижение нормальных напряжений в среднем на 25–30 %;

5) Благодаря сейсмоизоляции снижается расход арматуры.

В работах Я. М. Айзенберга используются адаптивные системы, которые позволяют «приспосабливаться» к сейсмическому воздействию. В результате устройства такой системы связевые панели, установленные между несущими стойками нижнего этажа, при интенсивных колебаниях выключаются из работы. Следовательно, частота свободных колебаний падает, период увеличивается, что приводит к снижению сейсмической нагрузки и связевые панели не разрушаются. К тому же происходит снижение относительных горизонтальных перемещений.

Вывод

Рассмотрели общие воздействия различных природных сил, действующих на систему состоящей из здания (сооружения), фундамента и грунтового основания.

Рассмотрели ряд мнений казахстанских и зарубежных ученых:

Исследований проффессора С. С. Вялова, Н. А. Цытовича сопротивление мерзлого грунта при длительном действии нагрузки имеет решения, если в порах есть место для замерзающей влаги, если влажность материала конструкции не превышает 85 %, то давления на стенки не возникает.

Исследованием ученого Ч. Сятина было разработано сейсмоизолирующее устройство со скользящим поясом с элементами фторопласта в конструкции фундамента.

Рассмотрели по мнению казахстанских ученых решения проблем проектирования и строительства зданий и сооружений в сейсмически активных районах.

В рамках стандартов строительства и сооружения обеспечивают выполнение всех требований, обладая при этом несомненными достоинствами: наличие открытых стандартов, поддерживаемых широким кругом разработчиков; экономические выгоды как для создателей систем, так и для их пользователей.

Литература

1. Leguillon D. Strength or toughness? A criterion for crack onset at a notch // Eur. J. Mech. A/Solids. - 2002. - Vol. 21, No. 1. - P. 61-72.
2. Сукнёв С.В. Нелокальные критерии разрушения. Критерий средних напряжений // Наука и образование. - 2007. - № 1. - С. 28-33.
3. Pugno N.M., Ruoff R.S. Quantized fracture mechanics // Philos. Mag. - 2004. - Vol. 84, No. 27. - P. 2829-2845.
4. СедовЛ.И. Механика сплошной среды. -М.: Наука, 1984. - Т. 2. - 560 с
5. http://library.psu.kz/fulltext/buuk/b1613.pdf
6. http://pstu.ru/files/file/CTF/sp/vopr_i_otv/razd07.html
7. С.Г.Змеул Б.А.Маханька Архитектурная типология зданий и сооружений // Мосвка Архитектура –С 2004г
8. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений, Автор: Адамович, В.В.; Бархин, Б.Г.; Варежкин, Ва. и др.,Год: 1985,Издание: М.: Стройиздат; Издание 2-е, перераб. и доп.,Страниц: 543
9. Толушов С. А., Немова Е. Ю., Загарина М. С. Проблемы проектирования сейсмостойких зданий // Молодой ученый. — 2015. — №11. — С. 450-452.

ВЛИЯНИЕ ДЕФИНИЦИЙ НА ПОСТАНОВКУ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

[1,2]Буранбаева А.И., [1,2]Коржаспаев А.Е., [1,2]Сагындыкова М.С.
e-mail: a.buranbaeva@gmail.com, arman.korzhaspayev@gmail.com, marjan1982.82@mail.ru
[1]Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Казахстан,
[2]Университет Туран, Казахстан

Аннотация. *Проведен анализ законодательных, подзаконных и нормативных актов Республики Казахстан для инновационной деятельности и показано наличие дефиниции соответствующей современным концепциям понятия «инновация», и ее влияние на постановку задач информационного обеспечения инноваций при использование внешних информационных ресурсов. Предложен вариант структуры базы метаданных, элементы которой соответствуют стандарту «Дублинское ядро», а расширенный перечень квалификаторов, релевантных решаемой задаче, предусматривает возможность использования 35 квалификаторов (подполей)*

Дефиниция (лат. definitio - определение) - логическая операция [1]:

1) раскрывающая содержание (смысл) имени посредством описания существенных и отличительных признаков предметов или явлений, обозначаемых данным именем (денотата имени);

2) эксплицирующая значение термина.

В процессе дефинирования термину должен быть непосредственно прописан в качестве его значения либо экстенсионал (объект) либо интенсионал (признак). Если термин явно несоотнесен ни с объектами, ни с признаками, он остается символом, не имеющим семантического значения. Определить термин, значить установить границы его применения.

Строгая дефиниция состоит из двух частей: 1) дефиниендума (dfd) - определяемого имени, и дефиниенса (dfn) - определяющего выражения, раскрывающего смысл определяемого имени либо устанавливающего значение термина. Дефиниендум и дефиниенса должны находиться в отношении тождества, то есть иметь один и тот же денотат, и быть взаимозаменяемыми.

По сути дефиницию можно рассматривать как логический прием, позволяющий отличать некоторое множество изучаемых предметов от других предметов, т.е. производить его спецификацию посредством явного формулирования отличительной совокупности его признаков. Отсюда следует важность решения проблемы степени влияния дефиниций на постановку задач информационного обеспечения инноваций и использование внешних информационных ресурсов.

Решение указанной проблемы предполагает соблюдение при разработке базы метаданных (база метаинформации), содержащих описание информационных ресурсов, актуальных для различных этапов жизненного цикла инноваций, требований дефиниций, в соответствии с правилами [2]:

1) Дефиниция должна быть точной, не содержать двусмысленностей и четко отграничивающей определяемое понятие от однотипных сходных понятий;

2) Дефиниция должна быть соразмерной понятию, то есть не слишком широкой и не слишком узкой;

3) Дефиниция не должна содержать логического круга;

4) Дефиниция не должна быть логически противоречивой, когда перечисленные в дефиниции признаки исключают друг друга;

5) Дефиниция не должна быть отрицательной, то есть не должна состоять из перечня признаков, отсутствующих у понятия.

За годы государственного суверенитета в Казахстане для развития инновационной деятельности было принято порядка 15 основных законов и нормативно-правовых актов, которые обеспечили правовую поддержку развитию инновационной деятельности в республике.

В первых из них [3-6] поэтапно происходил процесс дифинирования термина инновация. В законе «Об инновационной деятельности» от 3 июля 2002 года Казахстан определился с термином «инновация» [7]. Это «результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде новой или усовершенствованной продукции (работы, услуги), нового или усовершенствованного технологического процесса, а также организационно-технические, финансово-экономические и другие решения в различных сферах общественных отношений, оказывающие

прогрессивное влияние на различные области производства и сферы управления обществом». Эта дефиниция соответствует современным концепциям понятия «инновация», для которых важны три свойства: 1) научно-техническая новизна, 2) производственная применимость, 3) коммерческая реализуемость (способность удовлетворять рыночный спрос и приносить прибыль производителю).

Для систематизации внешних информационных ресурсов дефиниции «инновация» важно использование метаданных. Метаданными называются структурированные данные, характеризующие информационный ресурс для целей идентификации, поиска и управления им [9].

Основные функции метаданных [9]:

– описание источников данных;

– описание семантики информационных источников, информационных объектов или их фрагментов;

– идентификация описываемых ресурсов;

– предоставление пользователям сведений об описываемых ресурсах;

– управление доступом к информационным ресурсам;

– обеспечение поиска информационных ресурсов;

– распространение информационных ресурсов;

– тематическая систематизация информационных ресурсов;

– описание авторских прав на интеллектуальную собственность;

– обеспечение интероперабельности и повторного использования информационных ресурсов;

– интеграция данных из многих источников.

Наиболее эффективным средством организации метаданных являются базы метаданных, предназначенные для упорядочения и описания структурных элементов единиц хранения информации в их цифровом и нецифровом виде в целях обеспечения поиска и обмена между ее держателями (производителями) и пользователями (потребителями) [10].

Ниже представлен рабочий вариант структуры базы метаданных для использования в системе информационного обеспечения инновационной деятельности Республики Казахстан (таблица 1).

В предлагаемом варианте структуры базы метаданных элементы соответствуют стандарту «Дублинское ядро», а перечень квалификаторов, релевантных решаемой задаче, расширен до 35.

Таблица 1 - Структура базы метаданных

Элементы данных	**Назначение элемента данных**	**Квалификатор**	**Язык**
Coverage	Характеристики местонахождения и временной продолжительности ресурса	CNTR – страна	Классификационный
		RC – ретроспективный охват	Числовой
		CCV – страновой охват	Классификационный

Элементы данных	Назначение элемента данных	Квалификатор	Язык
Date	Дата некоторого события в жизненном цикле ресурса	CRT – создан	Формат даты
		VLD – действителен	Формат даты
		AVL – доступен	Формат даты
		MODIF – изменен	Формат даты
Description	Описание содержания ресурса	TC – оглавление (состав ресурса)	Свободный текст
		AB – реферат	Свободный текст
		PPT – презентация	
		CO – комментарии	Свободный текст
Format	Формат представления данных ресурса	EXT– размер ресурса	Свободный текст
		MEDI – медиа-тип	Классификационный
Language	Язык представления ресурса	ISO_639 – двухбуквенный код языка	Классификационный
		ISO_3166 двухбуквенный код страны	Классификационный
Publisher	Организация, ответственная за предоставление доступа к ресурсу	CNTR – страна	Классификационный
		ORG – организация	Свободный текст
Relation	Связанные (аналогичные) ресурсы, полностью или частично покрывающие данный ресурс	RR – связанные (аналогичные) ресурсы	Возможно использование авторитетных файлов
		CO – комментарии	Свободный текст
Rights	Сведения о правах на использование и управление ресурсом	LIC – лицензия (право на управление ресурсом)	Свободный текст
		PIS - право интеллектуальной собственности	Свободный текст
		AVP – авторское право	Свободный текст
		DR – другие имущественные права	Свободный текст
Source	Связанный ресурс, из которого данный ресурс может быть получен полностью или частично	RV – связанные вендоры	Возможно использование авторитетных файлов
		CO - комментарии	Свободный текст
Subject	Тема, предмет или содержание ресурса	KW – ключевые слова	Дескрипторный
		CC – классификационные коды тематики ресурса	Классификационный

Элементы данных	Назначение элемента данных	Квалификатор	Язык
		LCS – стадия жизненного цикла	Классификационный
		RS – релевантность практической ситуации (решаемой задаче)	Классификационный
		TA – целевая аудитория	Классификационный
Title	Название, под которым известен данный ресурс	ABBR – аббревиатуры	Свободный текст
		TRNS - переводы	Свободный текст
Type	Категория ресурса	RT – тип ресурса	Классификационный
		IT – тип информации	Классификационный
		SCI – видовая категория информации	Классификационный

Выводы:

Результат анализа законодательных, подзаконных и нормативных актов для инновационной деятельности показал, что используемая в них дефиниция соответствует современным международным применяемым концепциям понятия «инновация», для которых важны три свойства: 1) научно-техническая новизна, 2) производственная применимость, 3) коммерческая реализуемость (способность удовлетворять рыночный спрос и приносить прибыль производителю);

Представлен рабочий вариант структуры базы метаданных для использования в системе информационного обеспечения инновационной деятельности Республики Казахстан, элементы которой соответствуют стандарту «Дублинское ядро», а перечень квалификаторов, релевантных решаемой задаче, расширен до 35.

Благодарности. *Исследования проводились в рамках реализации проекта грантового финансирования МОН РК № AP05134019 «Разработка научно-методических основ и прикладных аспектов построения распределенной системы информационного обеспечения инновационной деятельности с учетом специфических особенностей каждого из этапов жизненного цикла инноваций».*

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/[Электрон. ресурс]. – 1999. – URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1014203 (дата обращения: 07.09.2019)

2. I. Utepbergenov, L. Bobrov, I. Medyankina «Principles of creation of information support system for innovative economy in the Republic Kazakhstan» // 28th International Scientific Conference on Economic and Social Development - Paris (France), 2018. - p. 271-276, (Web of Science)

3. Закон Республики Казахстан от 26 июля 1999 года № 456-I. «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименованиях мест происхождения товаров» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 31.10.2015 г.) [Электрон. ресурс]. –

1999. – URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1014203 (дата обращения: 07.09.2019)

4. Закон Республики Казахстан от 29 июня 2001 года № 217-II. «О правовой охране топологий интегральных микросхем» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 31.10.2015 г.) [Электрон. ресурс]. – 2001. – URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1023841 (дата обращения: 07.09.2019)

5. Закон Республики Казахстан от 13 июля 1999 года № 422-I «Об охране селекционных достижений» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 27.11.2015 г.) [Электрон. ресурс]. – 1999. – URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1014046 (дата обращения: 07.09.2019)

6. Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 сентября 2001 года № Об одобрении Концепции охраны прав интеллектуальной собственности [Электрон. ресурс]. – 2001. – URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1025161 (дата обращения: 07.09.2019)

7. Закон Республики Казахстан от 3 июля 2002 года № 333-II Об инновационной деятельности [Электрон. ресурс]. – 2002. – URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1031942#pos=5;-153 (дата обращения: 07.09.2019)

8. Закон Республики Казахстан О государственной поддержке инновационной деятельности от 23 марта 2006года № 135-III (с изменениям и дополнениями по состоянию на 05.07.2011 г.) [Электрон. ресурс]. – 2002. – URL: http //online.zakon.kz/document/?doc_id=30049965 (дата обращения: 07.09.2019)

9. Бобров Л.К., Медянкина И.П., Родионова З.В., Виншу Л.Д., Утепбергенов И. Т. Знаниевый подход к созданию системы информационной поддержки инновационной деятельности. Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2019): сборник научных трудов XXII Международной научной конференции. 25–26 апреля 2019 г. / под науч. ред. Ю. Ф. Тельнова: т.2 – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2019., с. 6-16

10. DCMI Metadata [Electronic resource] //Dublin Core Metadata Initiative innovation in metadata design, implementation & best practice [site]. – 2012. – URL: http ://www dublincore jrg/documents/#section3, свободный (дата обращения: 07.09.2019)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНКИ ZnO: Al НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТИ

Диханбаев[1] К.К., Сиваков[2] В.А., Мусабек[1] Г.К., Шабдан[1] Е.Т, Бондарев[1] А.И.

Email: dkadyrjan@mail.ru

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

[2]Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany

Введение

Как известно, прозрачная проводящая плёнка на основе оксида цинка ZnO, легированного алюминия различного концентрации представляет большой интерес среди исследователей, из-за широкозонного полупроводникового материала для барьера Шоттки в солнечных элементах [1] и в светоизлучающих диодах [2].

Ранее проведенной работы [3] [4], в качестве ТСО плёнки на поверхности кремниевых нанонитей было использовано прозрачное просветляющее покрытия на основе ZnO: Al, так называемого (AZO) плёнка. Мы изучили пленок оксида цинка, изготовленные методом термического и магнетронного испарения с использованием различного уровня легирования Al.

В данной работе будет рассматриваться электрические характеристики пленки ZnO: Al таких, как удельное сопротивление, концентрация носителей заряда и подвижности с помощью холловского измерения, а также их температурные зависимость.

Исследуемые пленки оксида цинка были получены с использованием двух методов: термического испарения и магнетронного распыления. В термическом испарении нами были исследованы пленки оксида цинка толщиной 0,3 мкм. Были использованы различные уровни легирования алюминием [5]. Температурные зависимости удельного сопротивления, магнитного сопротивления эффектов Холла были экспериментально исследованы в диапазоне от 2 до 300 К в магнитных полях до 8 Тесла. Исследованные пленки обладали проводимостью n -типа в диапазоне от $2 \cdot 10^4$ до $2 \cdot 10^5$ См/м в зависимости от уровня легирования.

Температурная зависимость проводимости, концентрации электронов и подвижности слабая [6] (значения при гелиевой и комнатной температурах отличаются менее чем на 5%). При низкой температуре пленки обладают небольшим отрицательным магниторезистивным эффектом (ограничение до -2,5% при 4 К), который уменьшается с увеличением уровня легирования алюминием и температуры.

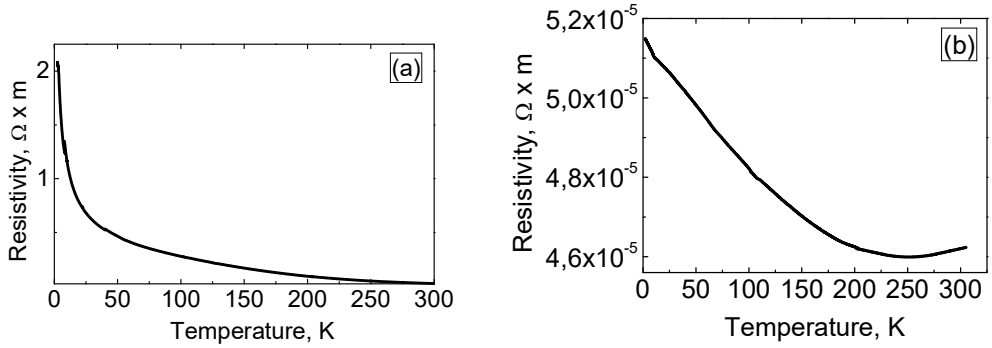
В качестве подложек использовались стекло и монокристаллические пластины кремния, получаемые методом Чохральского, покрытые слоем SiO_2. Синтез проводился при 225 ºС. Мишень представляла собой чистый оксид цинка или цинк с добавлением алюминия (в соотношении 30:1 или 20:1). Толщина осажденных пленок была равна (0,29 ± 0,1) мкм. Эксперименты по исследованию пленок AZO на поверхности ноструктур проводились в ННЛОТ КазНУ и в Лейбниц институте фотонных технологий г.Йена, Германия.

В этой работе будут рассматриваться температурные зависимости удельного сопротивления от 0°К до комнатной 300°К температуры при осаждении ZnO пленки с легированными и без легированных примесей алюминия. Эксперименты будут проводиться на кварцевом стекле при различных температурах, методами магнетронного распыления (вакуумная установка ВУП-4) и термического испарения в вакууме (ВУП-5).

Также будем определять другие параметры, в частности концентрация и подвижности носителей заряда в прозрачной пленке ZnO легированной Al и без него.

Обсуждение полученных результатов

Как показали наши эксперименты, самое высокое сопротивление наблюдается в плёнках, осажденных магнетронным распылением без легирования алюминием (рисунок 1). Видно, что при низких температурах удельное сопротивление пленок, синтезированных магнетронным распылением примерно на пять порядков выше, чем у пленок, полученных термическим испарением; при комнатной температуре эта разница сокращается до 3-х порядков. Повышение температуры от 4 до 300 К сопровождается уменьшением удельного сопротивления пленок, осажденных магнетронным распылением в 100 раз, в то время как сопротивление пленок, полученных термическим испарением изменяется менее чем на 10% во всем исследованном интервале температур. Таким образом, пленки, полученные магнетронным распылением, показывают значительно более высокое удельное сопротивление и чувствительность к температуре, в то время как термически напыленные пленки обладают низким удельным сопротивлением, которое слабо зависит от температуры.

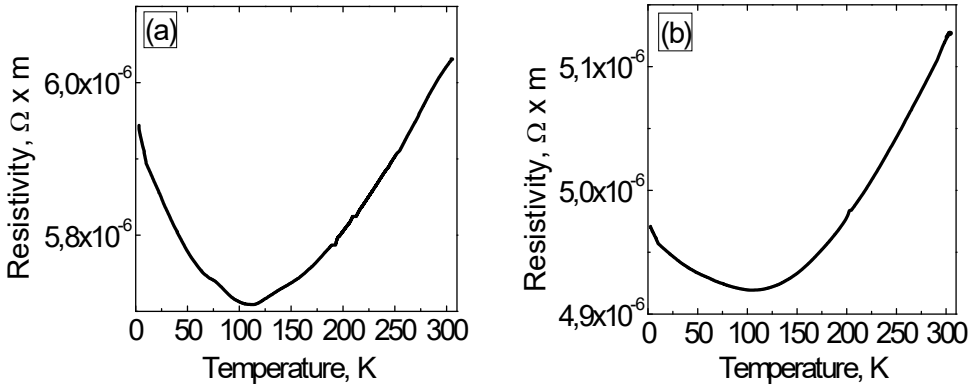


(a) магнетронного распыления (b) термического испарения

Рисунок 1 - Температурная зависимость сопротивления
для легированных пленок оксида цинка

Легирование алюминием пленок оксида цинка, полученных методом термического испарения, снижает их сопротивление примерно на порядок и уменьшает чувствительность сопротивления к температурам (рисунке 2).

Для термически распылённых в вакууме пленок, удельное сопротивление уменьшается монотонно с уровнем легирования атомами алюминия. В то же время, не наблюдалось влияние легирования на удельное сопротивление пленок полученных методом магнетронного распыления.



(a) - 1: 30 (b) - 1: 20

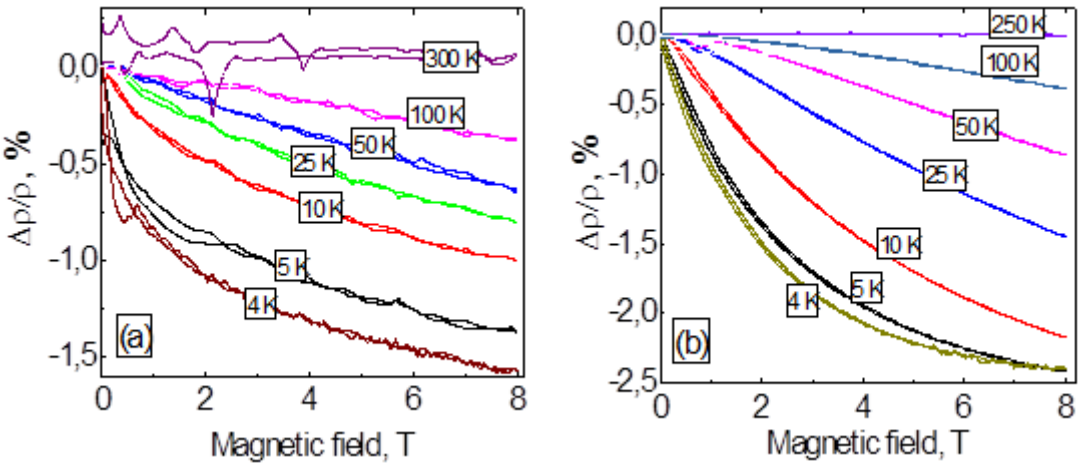
Рисунок 2 - Температурная зависимость удельного сопротивления для пленок оксида цинка легированных алюминием и полученных методом термического испарения

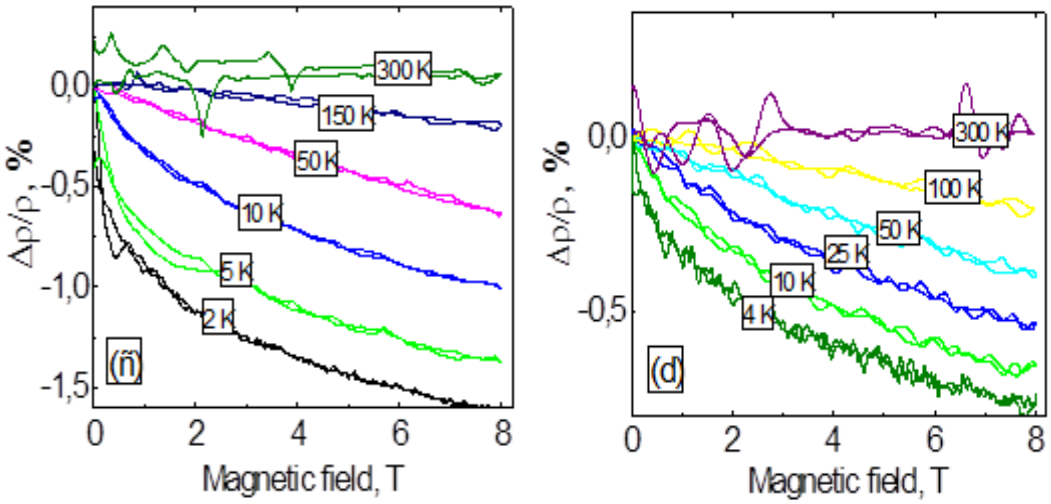
Как видно из рисунков 3, магнитное сопротивление (MR) для всех исследуемых пленок отрицательно и уменьшается с ростом температуры. Абсолютное значение MR не превышает 2,5% и уменьшается с ростом уровня легирования.

Эксперименты показали, что коэффициент Холла отрицателен во всем исследованном интервале температур, что указывает на проводимость *n*-типа для у всех типов пленок. Концентрация электронов N оценивалась по результатам измерений эффекта Холла с учётом того, что фактор Холла близок к единице:

$$R_H = \frac{1}{eN}, \qquad (1)$$

где e – заряд электрона

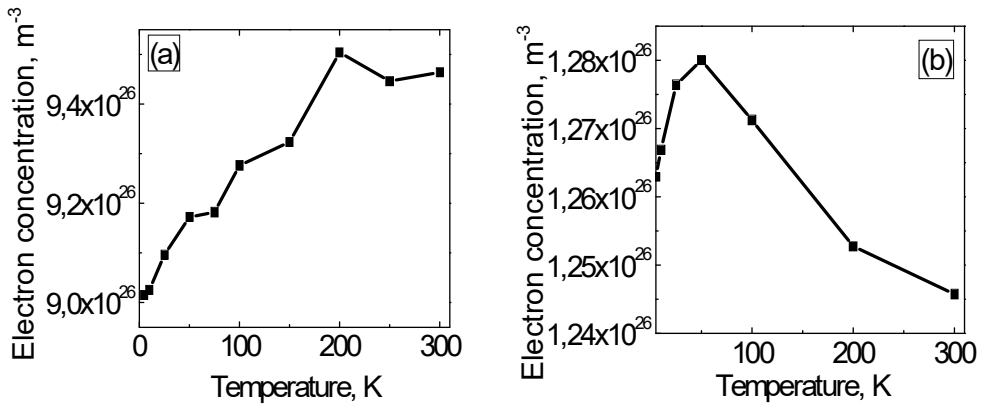


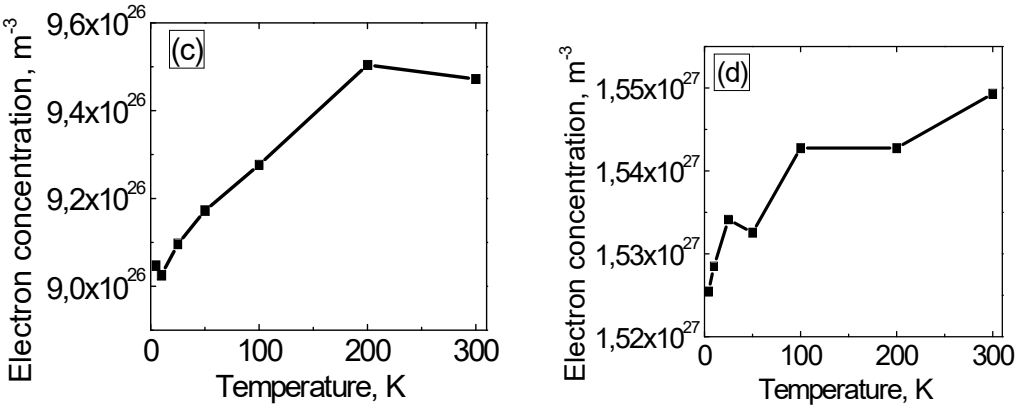


(а) - магнетронным распылением, без легирования; (б) - термически осажденных, без легирования; (с) – термического осажденных, легированных при 1: 30; (г) - термического осажденных, легированных при 1: 20

Рисунок 3 - Полевая зависимость магнитного сопротивления пленок оксида цинка при различных температурах

Температурная зависимость концентрации электронов, рассчитанная из выражения для $R_H(T)$ по формуле (1) представлена на рисунке 4. Как видно из рисунка, независимо от типа пленок, концентрация электронов практически постоянна в исследуемом диапазоне температур (4 - 300 К). Этот факт, естественно, объясняется высоким уровнем легирования пленок, что приводит к образованию перекрытия примесной зоны с зоной проводимости оксида цинка.





(a) - магнетронного распыления, нелегированных; (б) – термически осажденных, нелегированных; (c) – термически осажденных, легированных алюминием при 1: 30; (d) - термически осажденных, легированных алюминием при 1: 20.

Рисунок 4 - Температурная зависимость концентрации электронов в плёнках оксида цинка

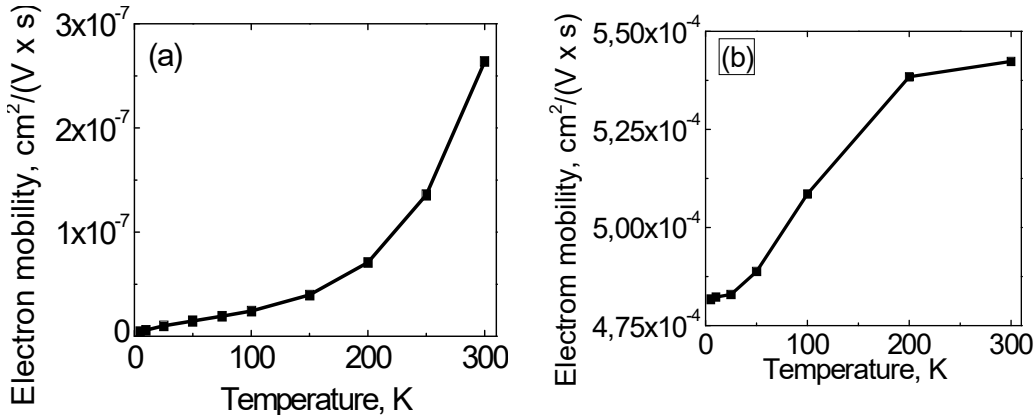
Холловская подвижность электронов μ может быть, выражена следующим образом

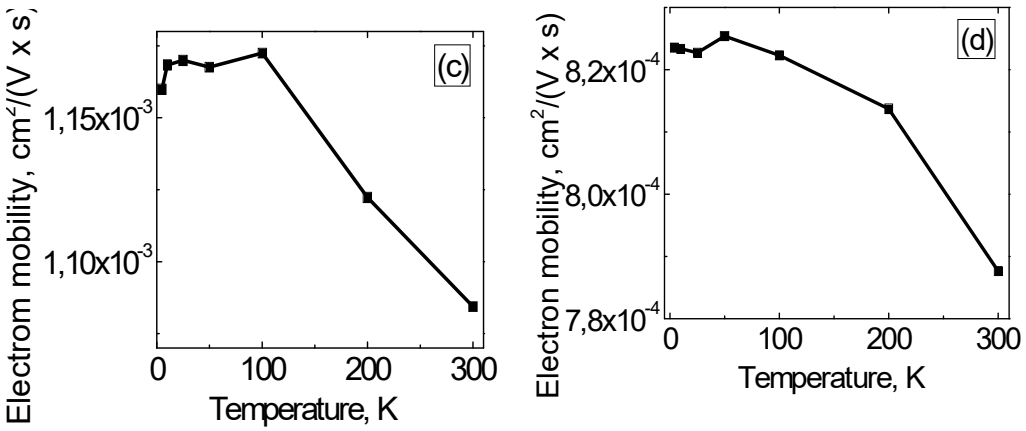
$$1/\rho = \mu Ne, \quad (2)$$

или

$$\rho = R_H/\mu. \quad (3)$$

Температурные зависимости подвижности, рассчитанные по формуле (3) представлены на рисунке 5. Из рисунка видно, что подвижность в плёнках, полученных методом магнетронного распыления значительно ниже, и сильно зависит от температуры.





(а) - магнетронного распыления, нелегированные; (б) – термическим испарением, нелегированные; (с) - термическим испарением, легированные алюминием при 1: 30; (г) - термическим испарением, легированные алюминием при 1: 20

Рисунок 5 - Температурная зависимость подвижности электронов в плёнках оксида цинка

Увеличение подвижности электронов с температурой для пленок, полученных магнетронного распыления, а также ее незначительное изменение с температурой для пленок, полученных термическим испарением, вероятно, происходит из-за того, что рассеяние электронов в основном определяется дефектами (примесные атомы, границы зёрен), тогда как рассеяние на фононах играет незначительную роль.

Заключение

В результате экспериментального измерения температурных зависимость резистивной характеристики пленки ZnO, полученные магнетронным распылением, показывают значительно более высокое удельное сопротивление и чувствительность к температуре, в то время как термически напыленные пленки обладают низким удельным сопротивлением, которое слабо зависит от температуры.

Для термически распылённых в вакууме пленок, удельное сопротивление уменьшается монотонно с уровнем легирования атомами алюминия. В то же время, не наблюдалось влияние легирования на удельное сопротивление пленок полученных методом магнетронного распыления. Кроме того, магнитное сопротивление (MR) для всех исследуемых пленок отрицательно и уменьшается с ростом температуры. Абсолютное значение MR не превышает 2,5% и уменьшается с ростом уровня легирования.

Температурная зависимость концентрации электронов, рассчитанная из выражения для $R_H(T)$ показали, что, независимо от типа пленок, концентрация электронов практически постоянна в исследуемом диапазоне температур (от 4 до 300 К). Этот факт, естественно, объясняется высоким уровнем легирования пленок, что приводит к образованию перекрытия примесной зоны с зоной проводимости оксида цинка.

Температурные зависимости подвижности носителей заряда, рассчитанные из Холловского измерения и полученного методом магнетронного распыления значительно ниже, и сильно зависит от температуры. Увеличение подвижности электронов с температурой связано рассеянием электронов в объёме пленки определяется дефектами (примесные атомы, границы зёрен), тогда как рассеяние на фононах играет незначительную роль.

Литература

1. Leem J.W., Joo D.H., Yu J.S. Biomimetic parabola-shaped AZO subwavelength grating structures for efficient antireflection of Si-based solar cells // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2011. – V.95. – P. 2221–2227.

2. McGlynn E., Fryar J., Tobin G., Roy C., Henry M.O., Mosnier J.-P., de Posada E., Lunney J.G., Effect of polycrystallinity on the optical properties of highly oriented ZnO grown by pulsed laser deposition / Thin Solid Films. – 2004. - V. 458. - P. 330-335.

3. К.К. Диханбаев, Б.Г. Топанов, Г.К. Мусабек, С. Сайланбек, Т.И. Таурбаев. Разработка технологии создания светодиодных структур на основе ZnO/por-GaN и исследование их оптоэлектронных свойств. Труды X-ой международной научной конференции «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов». - Алматы: ҚазҰУ, 2013. С.186-191.

4. Qu Y., Gessert T.A., Ramanathan K., Dhere R.G. Noufi R. Coutts T.J. Electrical and optical properties of ion beam sputtered ZnO:Al films as a function of film thickness./ Vac. Sci. Technol. 1993. A Vol. 11(4). P.996-1000.

5. G.K. Mussabek, K.K. Dikhanbayev, V.A. Sivakov, F. Talkenberg, S. Sailanbek, A.S. Djunusbekov, G.Ye. Ukenova, A.Ye. Kemelbekova. Aluminum doped zinc oxide layers by atomic layer deposition and magnetron sputtering: Formation and comparison of optoelectronic properties.//J. Physical Sciences and Technology. - 2015. Vol.2, № 1. - P. 18-23. Сб. трудов;

6. Loff A., Wieder S., Rech D., Klutb O.,Beneking C, Wagner H. Al-doped ZnO films for thin-films solar cells with very low sheet resistance and controlled texture // 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exibition, Barselona, Spain. 1997. P. 2089-2093.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПО ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА

Искаков К.Т., Боранбаев С.А., Азиева Н., Тураров М.

kazizat@mail.ru, boranbaevsa@mail.ru, nurgul_aziyeva@mail.ru, marzhan_08@mail.ru

Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Казахстан

Аннотация. *В данной работе рассматривается математическая модель по восстановлению формы и табличного значения источника на основе реальных данных сигналов от приемника георадара серии Лоза-В.В качестве математической модели выбрано уравнение геоэлектрики в цилиндрической системе координат. Эксперименты, с использованием георадара, проведены на однородном участке чистый речной песок, с известными геоэлектрическими свойствами. В этом случае рассматриваемоеуравнение с помощью специальной замены функций сводится к дифференциальному уравнению Риккати. Это позволило получить явное выражение, связывающие спектр функции, описывающий отклик среды (реальных данных радара) и спектр функции описывающий поведение источника. По найденным спектрам источника, с использованием обратных преобразований Фурье, восстановлен сам излучаемый источник в табличной форме. Методика восстановления источника, проведены при различных местоположениях антенны приемника от антенны источника. Проведены серии численных расчетов, показывающих эффективность рассматриваемой математической модели по восстановлению источника.*

Введение

Подповерхностная радиолокация объектов применяется для неразрушающего контроля и диагностики объектов в области строительства, археологии, геологии, геофизики, таможенного контроля. Приборы подповерхностной радиолокации (георадары) в настоящее время используются для диагностики и выявления недоступных и скрытых подземных и других подверхностных структур. В Дальнем и Ближнем зарубежье существуют различные модификации подобных приборов, которые нашли широкое коммерческое применение. Теоретические основы и практические методологии подповерхностной георадилокации описаны в работах [1]-[10].

Как правило, георадары имеют встроенное программное обеспечение, выходная информация которого представляет собой радарограмму, т.е. временные развертки отраженного сигнала, снятые вдоль трассы. Современное состояние методов практической интерпретации заключается в сравнении полученных радарограмм с имеющимися в базе стандартными видами, а также дополнительными расчетами, основанными на теории распространения волн в среде. Радарограмма несет информации времени пробега до неоднородности, а на практике возникает интерес определить физические характеристики неоднородности. В случае отраженных электромагнитных сигналов к физическим характеристикам исследуемых объектов относятся: диэлектрическая и магнитная проницаемость, проводимость сред. Для определения этих коэффициентов широкое распространение получила теория некорректных и обратных задач, которое получило бурное развитие в 20-ом веке. Основа этой теории восходит от первых работ в этом направлении академика А.Н. Тихонова [11]. Теоретические основы и вопросы численного метода решения обратных задач для уравнения геоэлектрики подробно освещены в монографии В.Г. Романова, С.И. Кабанихина [12]. Применение оптимизационных методов для решения коэффициентных обратных задач изложены в монографии С.И. Кабанихина и Искакова К.Т. [13].

Для случая слоистых сред широкое распространение получил метод послойного пересчёта. Одним из первых технологичных алгоритмов послойного пересчета для решения дифференциального уравения второго порядка для горизонтально-слоистой однородной среды был алгоритм Тихонова А.Н. и Шахсуварова Д.Н. [14]. Далее, идея послойного пересчета была реализована в следующем виде. Хорошо известно, что дифференциальное уравнение или система дифференциальных уравнений второго порядка могут быть сведены с помощью специальной замены функций к дифференциальному уравнению Риккати или дифференциальному матричному уравнению Риккати. В случаекогда коэффициенты дифференциального уравнения Риккати или дифференциального матричного уравнения Риккати являются постоянными, тогда решение, могут быть записаны в аналитическом виде. В геофизической практике, этот прием был использован в работе Дмитриева В.И. [15] для дифференциального уравнения второго порядка для решения прямой задачи электроразведки.

В работахКарчевского А.Л. [16-17] представлен алгоритм для решения системы дифференциальных уравнений теории упругости, а в работе [18] данная методика применена для уравнений Максвелла для горизонтально-слоистых сред любого вида анизотропии. В дальнейшем данная методика получила развитие в работе [19].

При георадарных исследованиях известны данные измерения полученных приемником являются откликом среды, полученные в точке измерения, как функции от времени пробега. В дальнейшем данные используются как дополнительная информация для решения обратных коэффициентных задач. Для решения обратной задачи используем методы оптимизации, суть которой состоит в минимизации квадратичного функционала невязки рассчитанных и наблюдаемых полей (данные приемной антенны прибора).

В связи с этим для решения прямой задачи, необходимо определить табличное значение источника сигнала. С этой целью проведены экспериментальные исследования на однородном участке (речной песок), с известным геоэлектрическим разрезом. Полученный сигнал от приемника использована нами как дополнительная информация для решения обратной задачи по восстановлению формы источника. Рассматривается уравнение геоэлектрики, в цилиндрической системе координат. в частотной области. Рассматриваемое уравнение сведены с помощью специальной замены функций к дифференциальному уравнению Риккати.

Проведены экспериментальные исследования на лабораторном полигоне с использованием прибора. Реальные данные использованы для численного расчета по определению формы и табличного значения излучаемого сигнала. В работе используются также методика по восстановлению сигналов по спектру, на основе применения Фурье преобразований, приведенные в работе [20].

1. Описание математической модели

Рассмотрим уравнение геоэлектрики в цилиндрической системе координат:

$$\varepsilon u_{tt} + \sigma u_t = \frac{1}{\mu}(u_{rr} + \frac{1}{r}u_r + u_{zz}) + \frac{1}{r}\delta(r)\delta(z - z_*)g(t) \tag{1}$$

Начальные условия:

$$\begin{aligned} &u(0,x,y,z) = 0, \\ &u_t(0,x,y,z) = 0. \end{aligned} \tag{2}$$

Считаем что $\frac{\partial u}{\partial r}$ при $r = 0$ – ограничена.

Пусть

$$\vartheta(v,z,\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \int_0^{\infty} u(r,z,t) r J_0(vr) dr dt,$$

Тогда, после несложных вычислений, задача (1)-(2) примет вид:

$$\vartheta_{zz} - k^2(z)v = \delta(z - z_*)\overline{g}(\omega), \tag{3}$$

$$[\vartheta_z]_0 = 0, \qquad [\vartheta]_0 = 0. \tag{4}$$

Используя определение обобщенной производной: $\vartheta_z = \{\vartheta_z\} + [v]_{z_*}\delta(z - z_*)$, окончательно, задачу (3)-(4), запишем иначе:

$$\vartheta_{zz} - k^2(z)\vartheta = 0, \tag{5}$$

$$[\vartheta_z]_0 = 0, \qquad [\vartheta]_0 = 0, \tag{6}$$

$$[\vartheta_z]_{z_*} = \hat{g}(\omega), \qquad [\vartheta]_{z_*} = 0. \tag{7}$$

Используя стандартные приемы, как в работах [16]-[17], перейдем к уравнениюРиккати:

$$\vartheta_z = s\vartheta \Rightarrow s' + s^2 = k^2,\ z \in (-\infty, z_*],\ z \in [0,\infty) \tag{8}$$

$$\begin{aligned} s(z) &= k_0 \\ s(z) &= -k_1 = s^0. \end{aligned}$$

$$\vartheta(r_0,0,\omega) = -\hat{g}(\omega)\int_0^{\infty} \frac{\nu J_0(\nu r_0)}{\sqrt{\nu^2 - (\omega^2\mu_0\varepsilon_1 - i\omega\mu_0\sigma_1)} + \sqrt{\nu^2 - \omega^2\mu_0\varepsilon_0}} d\nu \tag{9}$$

.

2 Проведение экспериментальных исследований

Экспедиция в составе профессора ЕНУ имени Л.Н Гумилева Искакова К.Т., старшего преподавателя Боранбаева С.А., доктора PhDМиргаликызы Т, и докторанта 2 курса Азиевой Н., 19-20мая 2019 года провели эксперименты на песчаном карьере ТОО «Нурсат» (директор Жумабаев Даурен), находящейся в 68 км от города Нур-Султан по Кургальджинской трассе. Проведен комплекс измерений, по приему отраженных сигналов от однородного участка (речной песок). Эксперимент выполнен геофизическим комплексом серии «Лоза-В», с разверткой антенны:50 см., 100 см.

Задача исследования: геофизическое обследование структуры подстилающих слоев однородного чистого песка; моделирование источника импульса от прибора Лоза-В.; определение спектральных характеристик сигналов, излучаемой антенной.

Интерпретация серии радарограмм, полученных в результате зондирования, необходимы для решения обратных задач по восстановлению источника.

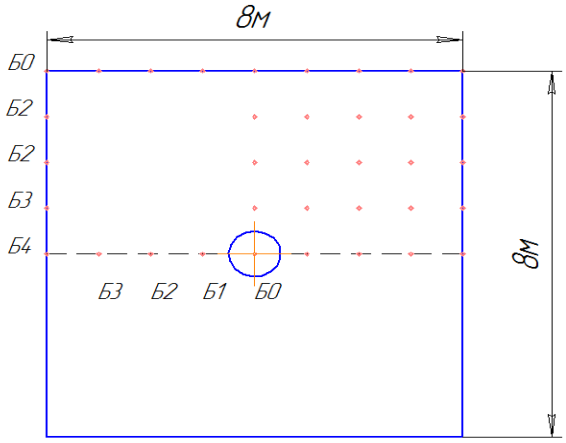


Рисунок 1. Схема измерений

Для измерения выбран однородный участок – речной песок, размерами 8метров в ширину и в длину. Схема участка приведена на рисунке 1. Проведены три эксперимента:

1) Источник георадара помещен в точке Б0, а антенна располагалась на расстоянии 1 метр;

2) Источник располагался в точке Б0, а антенна располагалась на расстоянии 2 метра;

3) Источник располагался в точке Б0, а антенна располагалась на расстоянии 3 метра.

В качестве экспериментального сигнала взята трасса радарограммыот речного песка. Графики трасс представлены на рисунках 2-5. Частота дискретизации АЦП георадарасерии: «Лоза –В» 2000 МГц. Количество отсчетов равна 512. Временной интервал 0-256 нс.

Данные радарограммы, имеющий свой формат, переведены в текстовый формат табличных значений сигналов.

На рисунке 2 представлено графическое изображение отклика эксперимента 1). Отклики сред, полученных по измерениям экспериментов 2),3), приведены на рисунках 3-4.

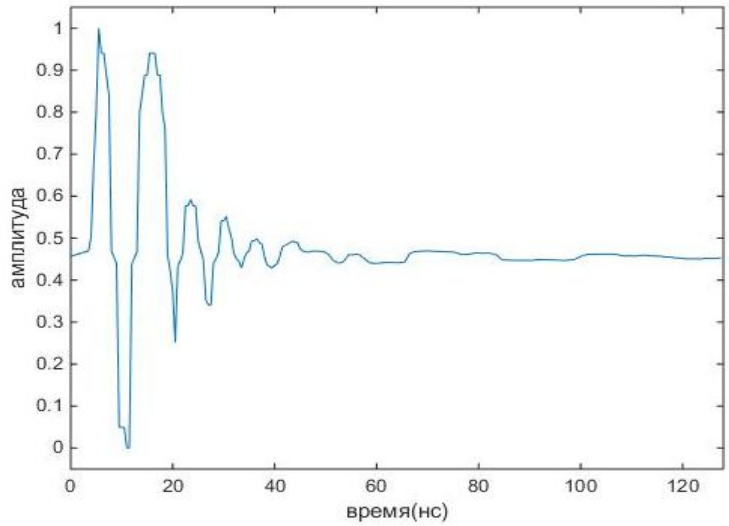


Рисунок 2. График трассы радаограммы.
Отклик среды в результате эксперимента 1).
(Антенна расположена от источника на расстоянии – 1 метр)

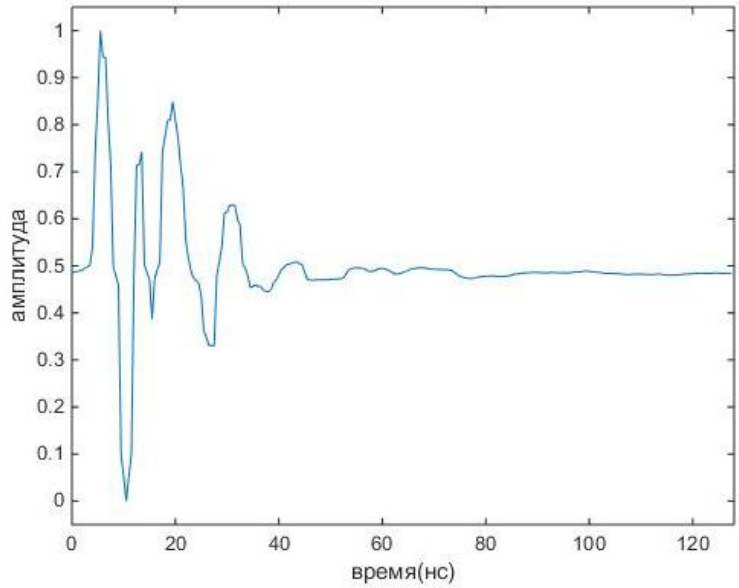


Рисунок 3. График трассы радаограммы.
Отклик среды в результате эксперимента 2).
(Антенна расположена от источника на расстоянии – 2 метра)

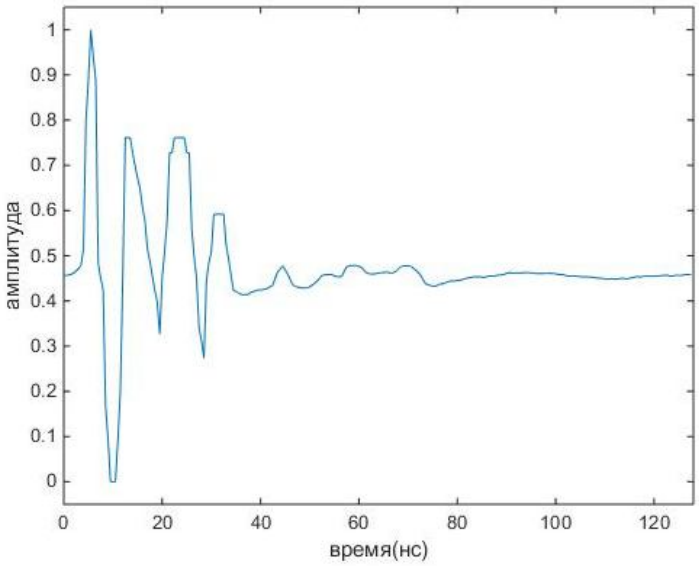


Рисунок 4. График трассы радаограммы.
Отклик среды в результате эксперимента 3).
(Антенна расположена от источника на расстоянии – 3 метра)

3 Численный расчет источника

Спектр трассы радаграммы, эксперимента 1 (отклика среды), представлен на рисунке 5. Частотная шкала графика изменяется от 0 до 1000 МГц. Модуль значений частотного распределения сигнала $\vartheta(\mathrm{r}_0, 0, \omega)$видно на рисунке 5.

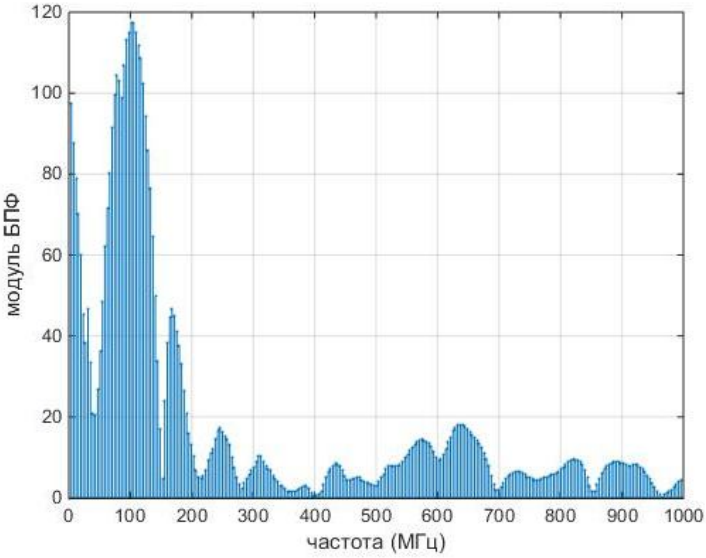


Рисунок 5. Спектр трассы радарограммы, по данным эксперимента 1).
(Антенна расположена на расстоянии 1 метр)

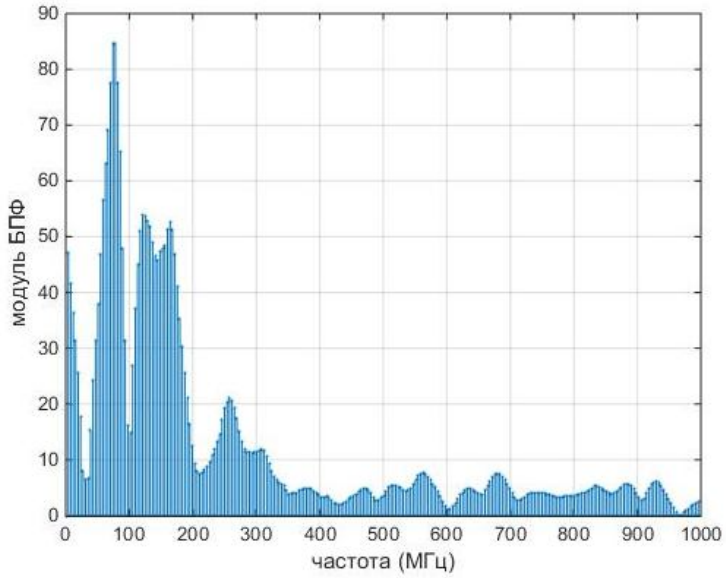


Рисунок 6. Спектр трассы радарограммы, по данным эксперимента 2).
(Антенна расположена на расстоянии 2 метра)

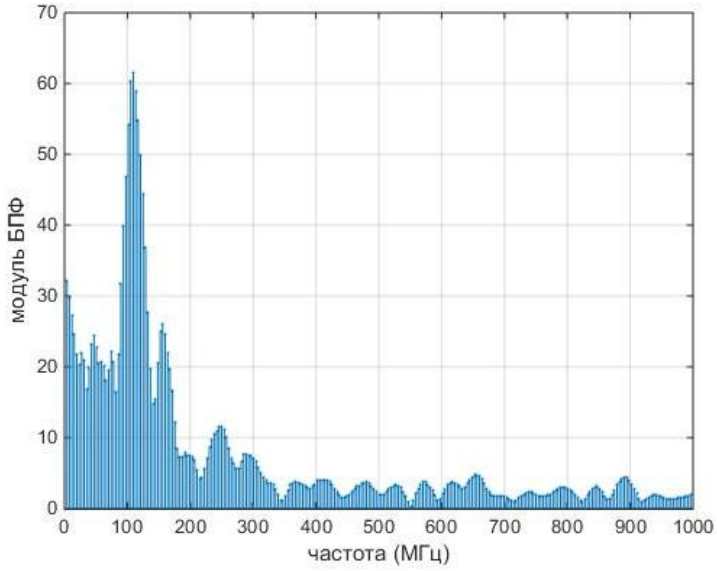


Рисунок 7. Спектр трассы радарограммы, по данным эксперимента 3.
(Антенна расположена на расстоянии – 3 метра.)

Имея спектры трассы радарограмм, используем формулу (9) имеем:

$$\vartheta(r_0,0,\omega_i) = -\hat{g}(\omega_i)\int_0^{\infty} \frac{\nu J_0(\nu r_0)}{\sqrt{\nu^2 - (\omega_i{}^2\mu_0\varepsilon_1 - i\omega_i\mu_0\sigma_1)} + \sqrt{\nu^2 - \omega_i{}^2\mu_0\varepsilon_0}} d\nu, i=1,\ldots,n/2 \quad (10)$$

Интеграл от комплексной функции в уравнении (10) представим в виде:

$$\int_0^\infty \frac{\nu J_0(\nu r_0)}{\sqrt{\nu^2-(\omega^2\mu_0\varepsilon_1-i\omega\mu_0\sigma_1)}+\sqrt{\nu^2-\omega^2\mu_0\varepsilon_0}}d\nu=\int_0^\infty (p(\nu)+iq(\nu))d\nu=\int_0^\infty f(\nu)d\nu \quad (11)$$

Численный расчет интеграла (11) реализуется итерационным методом прямоугольников (или трапеции).

$$\int_0^\infty f(\nu)d\nu \approx h\sum_{j=0}^{\infty} f(\nu_j) \quad (12)$$

Суммирование производится с заданной точностью ε.

$$\left|f(\nu_j)\right| < \varepsilon \quad (13)$$

При расчете использовались следующие параметры: $\varepsilon_0 = 1,\ \varepsilon_1 = 5\ , \mu_0 = 1\ , r_0 = 1, \sigma_1 = 1/500$.

График спектра источника представлена на рисунке 9.

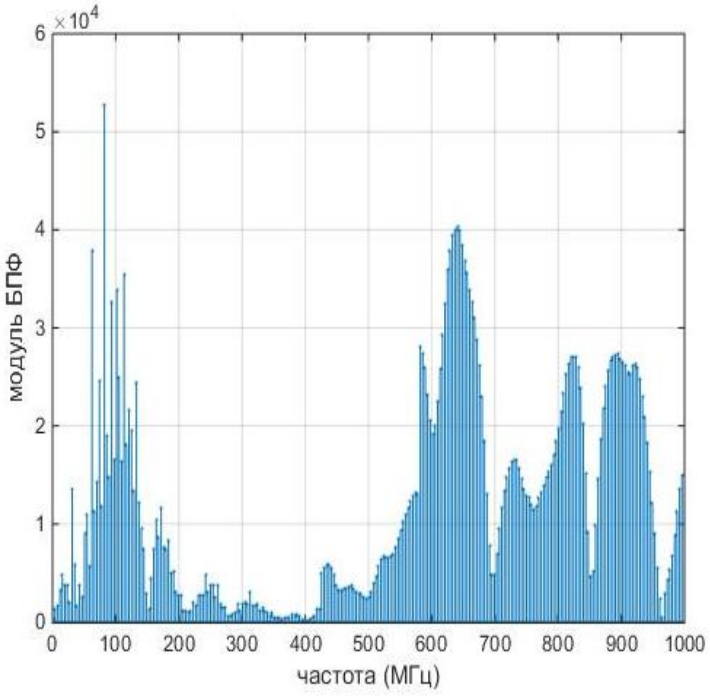


Рисунок 9. График спектра источника сигнала, для эксперимента 1.
(Антенна расположена на расстоянии – 1 метр)

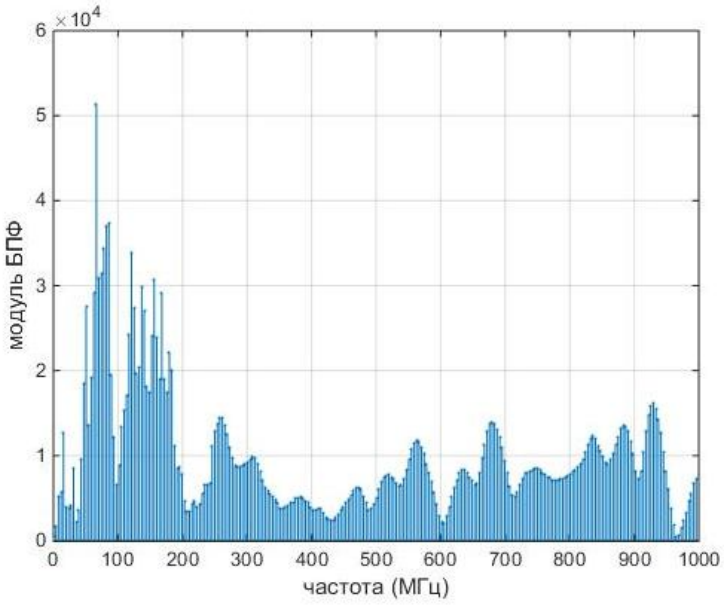


Рисунок 10. График спектра источника сигнала, для эксперимента 2.
(Антенна расположена на расстоянии от источника – 2 метра)

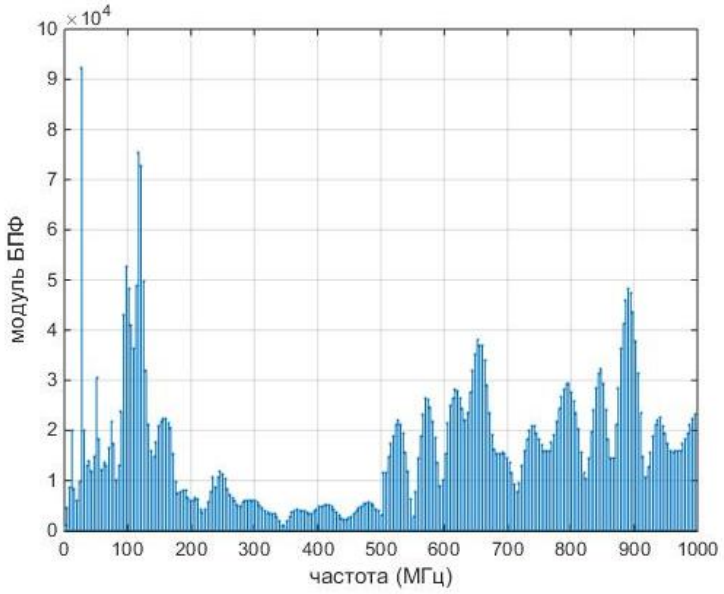


Рисунок 11. График спектра источника сигнала, для эксперимента 3.
(Антенна находится на расстоянии от источника – 3 метра)

Обратным преобразованием Фурье спектра g(ω) находим абсолютный сигнал источника (комплексный). График действительной части сигнала источника, в случае эксперимента 1) представлен на рисунке 12.

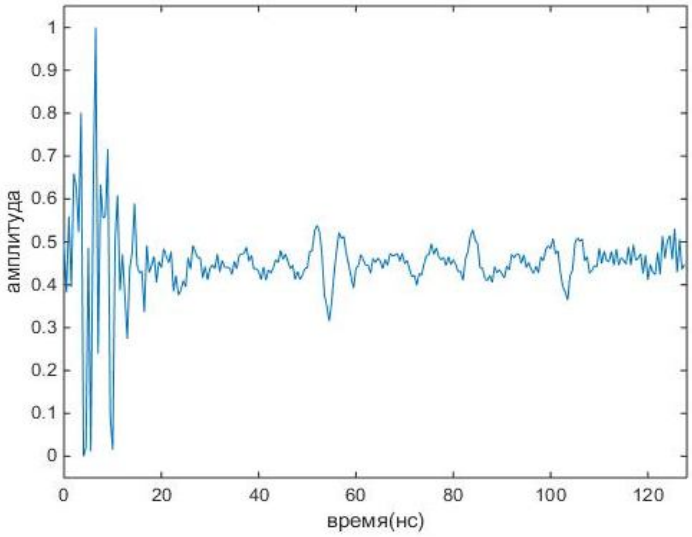


Рисунок 12. График восстановленного источника сигнала, по данным эксперимента 1)

Ниже на рисунках 13_14, приведены график восстановленного источника, при расположении антенны от источника на расстоянии: 2 метра, 3 метра.

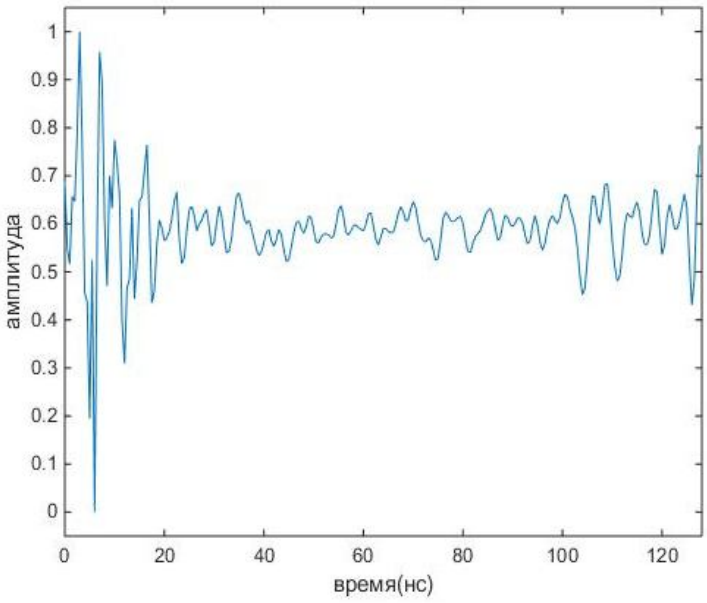


Рисунок 13. График восстановленного источника сигнала, по данным эксперимента 2

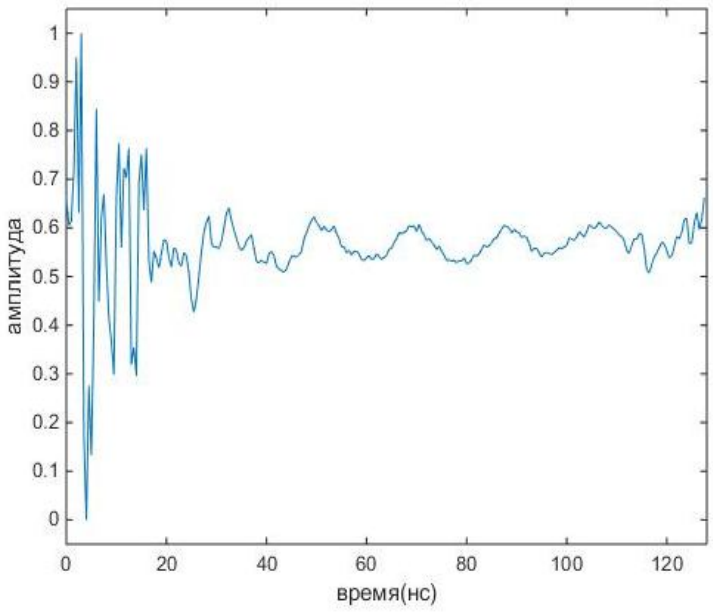


Рисунок 14. График восстановленного источника сигнала, по данным эксперимента 3

Вывод.

Как видно из полученных результатов расчета исходный сигнал передавшей антенны имеет широкий спектр (рис. 9-11) и длительность зондирующего импульса составляет 0,5-10 нс (рис. 12-14).

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.2018 в рамках проекта AP05133922.

Список источников:

1. Андриянов А.В. и др. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монограия / Под ред. А.Ю.Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005 – 416 с.: ил.
2. Манштейн А. К. Малоглубинная геофизика: Учеб.пос. по спецкурсу. Новосибирский гос. ун-т / Новосибирск, 2002
3. Денисов Р.Р., Капустин В.В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме, Журнал «Геофизика», №4, 2010, С.76-80.
4. Копейкин В.В. Рефракция волн в линейных средах с частотной дисперсией – М.: Наука, 2007 – 142 с.
5. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.А., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. М., Сов. Радио, 1977, 176 с.
6. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. - М.: Недра, 1986. - 128 с
7. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н. Подповерхностная радиолокация. М., Радио и Связь, 1994, 216 с.

8. Conyers, Lawrence B. And Dean Goodman, Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists. WalnutCreek, CA.: AltamiraPress, 1997
9. Ground Penetrating Radar: Theory And Applications / edited by Harry M. Jol. Elsevier, Amsterdam 2009, ISBN 978-0-444-53348-7
10. Ground Penetrating Radar / edited by David J. Daniels. London, 2004 ISBN 0-86341-360-9
11. A. Tikhonov and V. Arsenin, Solution of Ill-Posed Problems, NewYork: John Wiley, 1977.
12. Романов В.Г., Кабанихин С.И. Обратные задачи геоэлектрики. М.: Наука. 1991
13. Кабанихин С.И., Искаков К.Т. Оптимизационный метод решения коэффициентных обратных задач. Новосибирск. Издательство НГУ. 2001, 316с.
14. Тихонов А.Н., Шахсуваров Д.Н., Метод расчета электромагнитных полей, возбуждаемых переменным током в слоистых средах // Известия АН СССР, сер. Геофизическая, 1956, № 3, с. 251-254
15. Дмитриев В.И., Общий метод расчета электромагнитного поля в слоистой среде // Вычислительные методы и программирование, 1968, т. 10, с. 55-65.
16. Карчевский А.Л., Метод численного решения системы упругости для горизонтально слоистой анизотропной среды // Геология и Геофизика, 2005, т. 46, № 3, с. 339-351.
17. Карчевский А.Л., Прямая динамическая задача сейсмики для горизонтально-слоистых сред // Сибирские Электронные Математические Известия, 2005, т.2, с. 23-61.
18. Карчевский А.Л., АналитическоерешениеуравненийМаксвелла в частотнойобласти для горизонтально-слоистыханизотропныхсред // Геология и Геофизика, 2007, т. 48, № 8, с. 889-898.
19. Karchevsky A.L., Rysbayuly B.R., Analitical expressions for a solution of convective heat and moisture transfer equations in the frequency domain for layered media // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2015, v. 3, n. 4, p. 55-67.
20. Iskakov, K.T., Boranbaev, S.A., Uzakkyzy, N.Wavelet processing and filtering of the radargram trace // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications 5(4),c. 43-54 (2017) .

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА

Киселева О.В., Бейсек Л.
e-mail: bejsekova.laura@bk.ru
Университет «Туран»

Аннотация. *В этой статье на основе анализа особенностей и возможностей анализируется и исследуются облачные сервисы, представляются опросы отражающий современное состояние оценки производительности облачных*

сервисов с точки зрения системного моделирования. В этой статье также рассматриваются открытые вопросы и проблемы, связанные с подходами к оценке, и определяются возможные возможности для будущих исследований в этой важной области.

Ключевые слова: *SaaS, IaaS, PaaS, инфраструктура, Платформа программного обеспечения, оказание услуг, OУНР, DbaaS, безопасность, NIST, ASP*

С быстрым ростом платформы облачных сервисов пользователям становится все труднее находить облачные сервисы, удовлетворяющие их индивидуальным требованиям. Неструктурированная текстовая информация, такая как описательные тексты сервисов и теги сервисов, содержит богатые возможности облачных сервисов и полезна для платформ облачных сервисов для создания персонализированных сервисам.

Облачные вычисления - это крупномасштабная парадигма распределенных вычислений, основанная на экономии масштаба, в которой пул абстрактных, виртуализированных, динамически масштабируемых вычислительных ресурсов предоставляется по запросу в качестве услуг для внешних клиентов по сетям. Ключевые характеристики этой новой вычислительной парадигмы включают иллюзию бесконечных вычислительных ресурсов; устранение заблаговременных обязательств со стороны пользователей Cloud; и возможность платить за использование по мере необходимости. Виртуализация, которая абстрагирует аппаратное обеспечение центра обработки данных для поддержки виртуальных машин, формирует техническую основу в облачных вычислениях для реализации этих функций .

Рынок облачных услуг постоянно развивается, предлагая предприятиям все новые инструменты, позволяющие сократить издержки и повысить гибкость бизнеса. И помимо уже привычных всем сервисов аренды виртуальных мощностей и программного обеспечения, различные компании по всему миру используют десятки облачных услуг, которые помогают им быть на шаг впереди конкурентов. В этой статье мы рассмотрим виды облачных сервисов, и надеемся, что это поможет вам лучше ориентироваться в мире облачных технологий.

IaaS (Infrastructure as a Service-Инфраструктура как Услуга)

Данная услуга является одной из самых распространенных в мире. Заключается она в предоставлении заказчику в аренду вычислительных ресурсов, в виде виртуальной инфраструктуры. В нее могут входить серверы, системы хранения данных, виртуальные коммутаторы и маршрутизаторы. Такая ИТ-инфраструктура является полноценной копией физической среды.

PaaS (Platform as a Service-Платформа как Услуга)

Эта услуга также является одной из основных. Она состоит в том, что заказчик получает полноценную виртуальную платформу, включающую в себя различные инструменты и сервисы. Такую платформу клиент может настроить под свои нужды, сделав из нее площадку для тестирования ПО или, например, систему для автоматизации системы управления. Такой вид сервиса пользуется особой популярностью у разработчиков программного обеспечения.

SaaS (Software as a Service-Программное обеспечение как Услуга)

Данная облачная услуга на данный момент считается самой распространенной в мире, так как пользуются ей практически все люди, имеющие доступ в интернет. Заключается такая услуга в том, что клиент получает в свое распоряжение какие-либо программные продукты посредством сети интернет. В качестве примера можно привести почтовый сервис Gmail, или, например, облачную версию 1С.

CaaS (Communications as a Service-Коммуникация как Услуга)

Данная услуга заключается в предоставлении клиентам различных инструментов коммуникации в облаке. Это может быть телефония, сервисы по передаче быстрых сообщений или организации видеосвязи. При этом все необходимое ПО расположено в облаке провайдера.

CaaS (Container as a Service-Контейнер как Услуга)

Данная услуга позволяет клиентам работать с контейнерами с помощью API облачного провайдера или специальной веб-панели.

DRaaS (Disaster Recovery as a Service-Аварийное Восстановление как Услуга)

Данная услуга позволяет строить катастрофоустойчивые решения с помощью облака провайдера. Площадка поставщика облачных услуг является при этом «запасным аэродромом», на который постоянно реплицируются данные с основной площадки клиента. При выходе из строя сервисов клиента, они в течении нескольких минут перезапускаются, но уже в облаке. Такие решения особенно интересны компаниям с большим количеством бизнес-критичных приложений.

BaaS (Backup as a Service-Резервное Копирование как Услуга)

Этот вид услуги подразумевает обеспечение резервного копирования данных клиента в облако провайдера. Поставщик облачных услуг предоставляет заказчику не только место для хранения резервных копий, но, также, и инструменты, позволяющие обеспечить быстрое и надежное копирование. Для правильной реализации данной услуги очень важен этап планирования, в период которого должны быть рассчитаны параметры и глубина архива, а также пропускная способность каналов передачи данных.

BaaS (Backend as a Service-Бэкэнд как услуга)

Данная облачная услуга заключается в предоставлении заказчику полноценной среды разработки программного обеспечения в облаке провайдера. Данная модель включает в себя уже готовые инфраструктурные функции и решения, значительно упрощая работу разработчиков ПО.

DBaaS (Data Base as a Service-База Данных как Услуга)

Этот облачный сервис заключается в предоставлении возможности подключаться к базам данных развернутых в облаке. Клиент платит за аренду, в зависимости от количества пользователей и объема самой базы. Стоит отметить, что такая база данных никогда не упадет по причине отсутствия свободного места на дисках.

MaaS (Monitoring as a Service-Мониторинг как Услуга)

Этот вид облачных услуг помогает организовать мониторинг ИТ-инфраструктуры с помощью инструментов, расположенных в облаке провайдера. Это особенно важно для компаний, инфраструктура которых разнесена

географически. Данный сервис позволяет организовать централизованный мониторинг всех систем с единой точкой входа.

DaaS (Desktop as a Service-Рабочий стол как Услуга)

Данная услуга заключается в предоставлении пользователям удаленных рабочих столов. С помощью данной услуги можно быстро и с минимальными затратами организовать новый офис, с централизованным управлением рабочих мест. Также, одним из преимуществ данной услуги является возможность работы с любого устройства, что особенно ценно для сотрудников в командировках и постоянных разъездах.

STaaS (Storage as a Service-Хранилище как Услуга)

Эта услуга заключается в предоставлении дискового пространства в облаке провайдера. При этом для пользователей такое пространство будет обычной сетевой папкой или локальным диском. Сильная сторона данного решения заключается в повышенной безопасности данных, так как в облаке провайдера работают надежные системы хранения данных.

NaaS (Network as a Service-Сеть как Услуга)

Данная услуга позволяет организовать полноценную, сложную сетевую инфраструктуру в облаке провайдера. Этот сервис включает в себя инструменты маршрутизации, организацию безопасности, а также использование различных сетевых протоколов.

Быстрое развитие технологий облачных вычислений за последнее десятилетие позволило создать широкий спектр облачных услуг.

Сервис ориентированной архитектуры (SOA), которая инкапсулирует вычислительные ресурсы через абстрактные интерфейсы для отделения сервисов от их реализаций, играет ключевую роль в предоставлении облачных сервисов. Типичные модели облачных услуг включают в себя инфраструктуру как услугу (IaaS), платформу как услугу (PaaS) и программное обеспечение как услугу (SaaS).

Облачные вычисления позволяют использовать несколько моделей развертывания, включая общедоступные, частные и гибридные облачные инфраструктуры. В дополнение к общедоступным коммерческим облачным сервисам, предлагаемым крупными поставщиками услуг, такими как Amazon, Google и Microsoft, многие организации создали свои собственные частные облака или создали гибридные облака для предоставления различных услуг своим сотрудникам и / или клиентам. В последнее время разработки в области сетевых технологий значительно улучшили пропускную способность передачи данных и функции контроля / управления сетью, что делает возможной новую парадигму федерации Cloud.

Облако федерации позволяет вычислительные ресурсы в различных центрах обработки данных , которые будут организованы для предоставления композитных сервисов для конечных пользователей, что может значительно обогатить предоставление облачных услуг.

Последние инновации в области сетевых технологий могут еще больше расширить ландшафт облачных сервисов. Виртуализация была принята в качестве ключевого атрибута в будущих сетях благодаря недавно предложенной виртуализации сетевых функций (NFV).

Принцип SOA также применяется к сетям; тем самым вводя парадигму «сеть как услуга» (NaaS). Эти появляющиеся технологии могут преодолеть разрыв между сетевыми и облачными вычислениями для поддержки конвергенции сетевых и облачных сервисов. Такая конвергенция может стимулировать инновации в разработке сервисов, которые приводят к широкому разнообразию составных сетевых облачных сервисов.

С быстрым развитием облачных вычислений и сетевых технологий широкий спектр облачных сервисов был принят в качестве обязательных компонентов в информационных системах многих организаций; поэтому производительность облачных сервисов оказывает значительное влияние на производительность всей будущей информационной инфраструктуры.

Поставщики облачных услуг должны иметь глубокое понимание взаимосвязи между производительностью услуг и доступными ресурсами, чтобы в полной мере использовать свою инфраструктуру при соблюдении требований к производительности пользователей. Потребители облачных услуг также нуждаются в эффективных методах оценки производительности, которые могут быть гарантированы различными облачными службами, особенно различными предложениями одной и той же функции службы, для принятия решений об оптимальном выборе и составе услуг. Оценка производительности облачных сервисов является критически важной и выгодной как для поставщиков услуг, так и для потребителей.

С другой стороны, ключевые облачные технологии, такие как виртуализация и SOA, ставят новые задачи в оценке производительности сервисов. Виртуализация позволяет размещать гетерогенные сервисы на общих абстрактных инфраструктурах. SOA отделяет функции облачных сервисов от их реализаций; тем самым позволяя реализовать один и тот же сервис на различных хост-платформах с разнородными реализациями. Кроме того, платформа хоста службы может со временем меняться или мигрировать в разные места. Отсутствие информации о деталях реализации сервиса затрудняет анализ производительности.

Заключение

В заключении исходя из большого количества современных моделей и видов облачных сервисов можно сделать выводы, что облачные сервисы становятся неотъемлемой частью современного мира. Ими пользуется не только в корпоративных, но и в личных целях. Облачные сервисы стали новым способом хранения информации и личных данных. Конечно существуют риски с полной потерей информации в случае отказа работы сервисов, но компании предоставляющие услуги облачных сервисов делают резервное копирование всех данных, что позволит восстановить их в случае потери. По вышеуказанным причинам можно сделать вывод, что облачные сервисы в скором будущем станут неотъемлемой частью современного цифрового мира. (4)

Все перечисленные облачные услуги объединяет то, что они снимают целый ряд задач по организации тех или иных решений с плеч клиентов и позволяют им сосредоточиться на своей работе. И разумеется, ввиду массового использования данных сервисов, провайдеры обеспечивают высокую скорость и надежность

предоставляемых услуг, используя самые передовые технологии для их реализации. Развертывание решений такого уровня в локальной инфраструктуре заказчика, зачастую является нерентабельным. Таким образом, облачные сервисы помогают обычным компаниям использовать инструменты уровня enterprise.

Литература

1. Гохман В.В. ArcGIS в облаке // ArcReview. – 2010. – № 3 (54). URL: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_54/1_Obl.html (дата обращения: 16.11.2010).
2. Янюшкин В.В. Программные компоненты и архитектурные решения распределенных информационных систем на основе применения технологий cloud computing и WCF / В.В. Янюшкин // Перспективы развития средств и комплексов связи. Подготовка специалистов связи: мат. межвуз. научн.-техн. конф. – Новочеркасск: НВВКУС, 2009. – С. 239-241.
3. (Клермонтский отчет об исследованиях в области баз данных. 2008. URL: http://citforum.ru/database/articles/claremont_report/ (дата обращения: 16.11.2010).
4. Динцис Д. Храним данные в «облаках». – 06.02.2009. URL: http://hostinfo.ru/articles/web/ 1531/ (дата обращения 25.11.2010). Раздел IV. Новые информационные технологии
5. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584519301024
6. https://oblako.kz/iaas-blog/samye-populjarnye-oblachnye-servisy-v-mire
7. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864816301456

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ДВУХКОНТУРНОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ

Кунелбаев М.Н., Ауелбеков О.А., Катаев Н.С., Едилхан Д., Сундетов Т., Орманов Т.А.
e-mail: murat7508@yandex.kz
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *В данной статье рассматриваются основные параметры солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией для системы солнечного теплоснабжения. Для выполнения данной задачи рассмотрен разработанный нами новой конструкции плоский солнечный коллектор с термосифонной циркуляцией, в котором коэффициент теплопередачи был увеличен за счет устранения дополнительных перегородок между панелью и теплоизоляцией. Гелиоколлектор - основной теплогенерирующий узел гелиоустановки. Для достижения поставленной цели нами разработаны принципиально новый плоский солнечный колллектор, на базе которых будет создаваться разный размерный ряд гелиоустановок для нагрева воды и отопления здании и помещении.*

Введение

Гелиосистема (гелиоустановка) позволяет использовать солнечную энергию для горячего водоснабжения и подогрева воды в бассейне или даже для отопление всего дома. Правда, чтобы отапливать дом с помощью такой системы необходимо достаточно большое количество солнечных коллекторов.

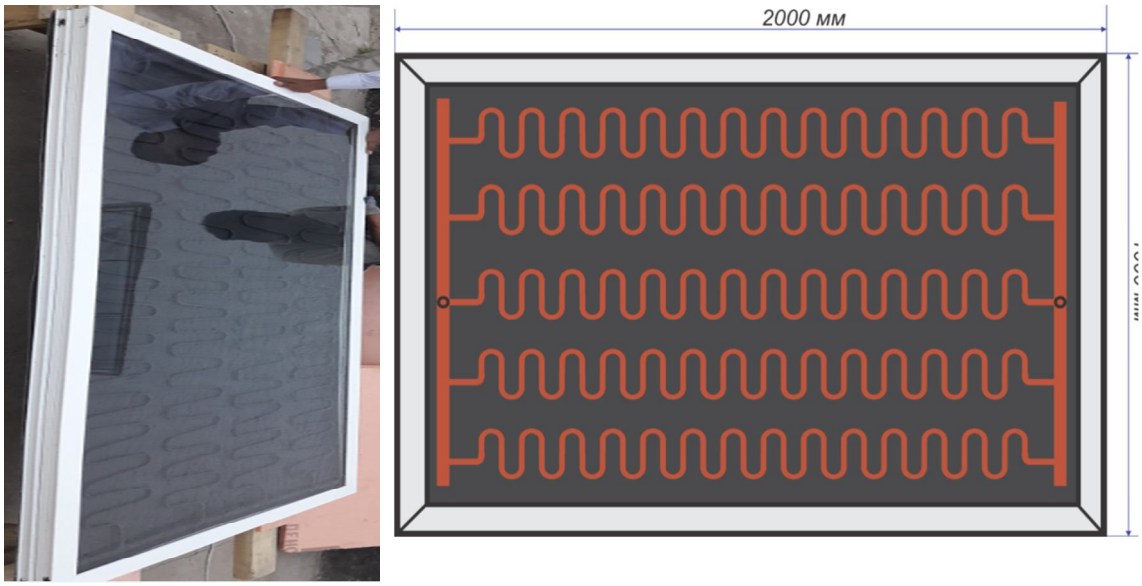


Рис.1. Тип 1- Гелиоколлектор с полимерным селективным покрытием

Таблица 1. Тип 1- Гелиоколлектор с полимерным селективным покрытием

Параметры	**Значение**
Материал адсорбирующей пластины	Медь
Размеры адсорбирующей пластины	1000x2000 мм^2
Толщина адсорбирующей пластины	0.4 мм
Материал для остекления	Коленное стекло
Размеры остекления	1000x2000 мм^2
Толщина остекления	4 мм
Изоляция	Пеноплекс
Угол наклона коллектора	45^0
Теплопроводность поглотителя	401 W/(m K)
Теплопроводность изоляции	0.04 W/(m K)
Коэффициент пропускания-поглощения	0.855
Видимая температура солнца	4350 K
Температура окружающей среды	303 K
Интенсивность излучения	1000 W/m^2

Солнечный коллектор (гелиоколлектор) – основной элемент в конструкции гелиосистемы. Он может быть выполнен в виде пластин (плоский) или в виде вакуумных трубок. Солнечные лучи, попадая на поверхность коллектора,

поглощаются им и, тем самым, нагревают *теплоноситель*, который циркулирует в коллекторе, до температуры 90 – 140ºС.

По трубопроводам высокотемпературный теплоноситель подаётся в *бак – аккумулятор*, нагревая в нём воду. Эту воду можно использовать для горячего водоснабжения или отопления дома. Остывший теплоноситель возвращается обратно в коллектор.

Накопительный бак горячей воды представляет собой ёмкость объёмом 250 – 500 литров, которая используется в гелиоустановке как аккумулятор тепла, полученного от солнечного коллектора. Конструктивно такой бак похож на бойлер – он имеет один или два внутренних теплообменника. К тому же он может иметь дополнительный электрический нагреватель.

Такой накопительный бак аккумулирует и долгое время сохраняет, полученное из солнечного коллектора, тепло, а при необходимости, и подогревает воду с помощью электронагревателя и обеспечивает теплообмен с основной системой отопления дома.

Типы размеры конструкции:

–Гелиоколлектор 1000х2000 мм^2

–Коленное стекло с размером 1000х2000 мм^2 толщиной 4 мм

–Рама алюминиевая

–Параллельно соединенные в одну медную трубу диаметром 19мм,

–4 медные трубы общей длиной 24м диаметром 10мм

–Медный лист толщиной 1мм покрашенный полимерной краской

–Обратная сторона гелиоколлектора сделана из алюминиевого листа толщиной 2мм

–Пеноплекс и пенофол

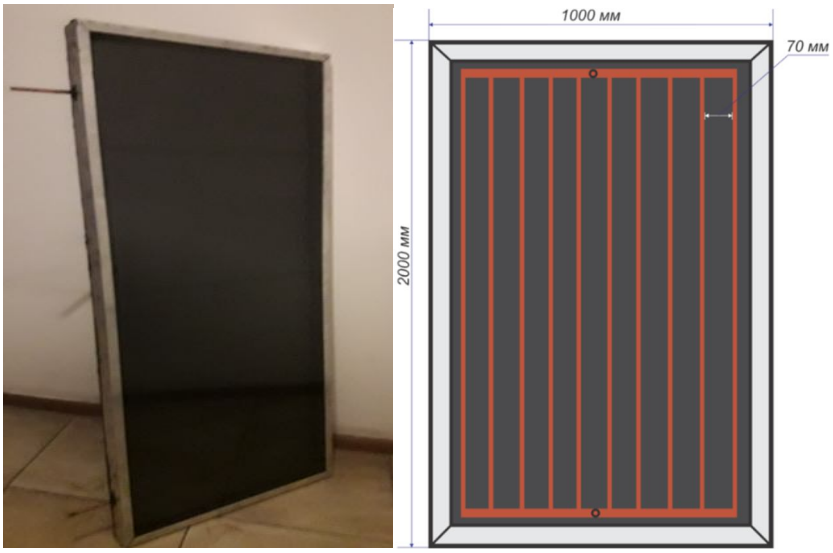


Рис. 2. Тип 2. Гелиоколлектор с пластиковыми тепловыми трубками

Таблица 2. Тип 2 - Гелиоколлектор с пластиковыми тепловыми трубками

Параметры	**Значение**
Материал поглощающей пластины	Пластик
Размеры пластины поглотителя	1000×2000 мм^2
Толщина плиты	0.4 мм
Материал для остекления	Коленное стекло
Размеры остекления	1000×2000 мм^2
Толщина остекления	4 мм
Изоляция	Пеноплекс
Угол наклона коллектора	45^0
Теплопроводность поглотителя	401 W/(m K)
Теплопроводность изоляции	0.04 W/(m K)
Коэффициент пропускания-поглощения	0.855
Видимая температура солнца	4350 K
Температура окружающей среды	303 K
Интенсивность излучения	1000 W/m^2

Типы размеры конструкции:

–Гелиоколлектор 1000х2000 м^2

–Коленное стекло размером 1000х2000 м^2 толщиной 4 мм

–Рама алюминиевая

–Параллельно соединенные в одну пластиковую трубу диаметром 10 мм, 11 пластиковые трубы общей длиной 22м диаметром 10мм

–Железный лист толщиной 0,5 мм покрашенный полимерной краской

–Обратная сторона гелиоколлектора сделана из алюминиевого листа толщиной 2мм

–Пеноплекс и пенофол

Лабораторный вариант двухконтурной гелиоустановки с термосиффонной циркуляцией

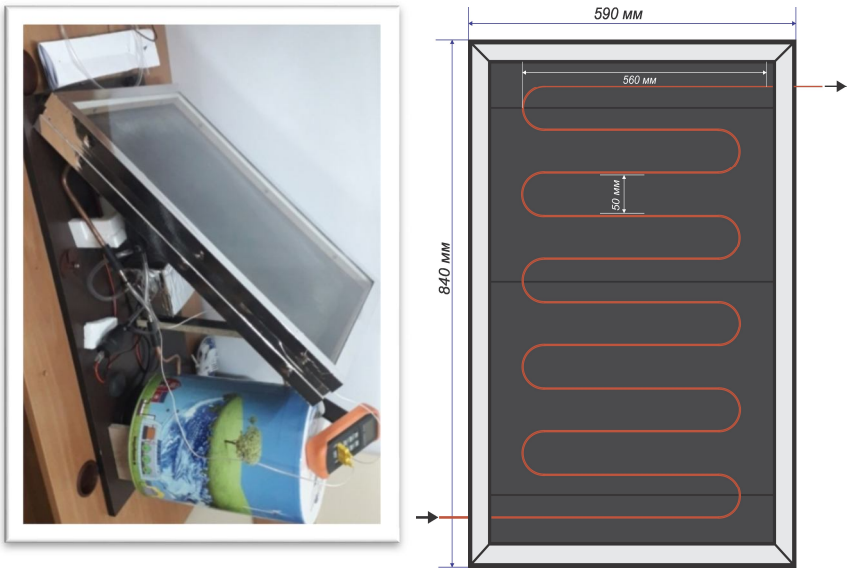


Рис. 3. Тип 3 - Гелиоколлектор выставочный макетный с химическим покрытием

Таблица 3. Тип 3 - Гелиоколлектор выставочный макетный с химическим покрытием

Параметры	Значение
Материал адсорбирующей пластины	Медь
Размеры пластины адсорбера	594×840 мм^2
Толщина пластины адсорбера	0.4 мм
Материал для остекления	Коленное стекло
Размеры остекления	600×850 мм
Толщина остекления	4 мм
Изоляция	Пеноплекс
Угол наклона коллектора	45^0
Теплопроводность поглотителя	401 W/(m K)
Теплопроводность изоляции	0.04 W/(m K)
Коэффициент пропускания-поглощения	0.855
Видимая температура солнца	4350 K
Температура окружающей среды	303 K
Интенсивность излучения	1000 W/m^2

–**Типы размеры конструкции:**
–Гелиоколлектор 594×840 мм^2
–Каленное стекло 4 мм

–Рама алюминиевая

–Змейкообразная медная трубка диаметром10мм и длиной 4,5 метра припаян с задней стороны адсорбирующего медного листа.

–Медный лист толщиной 1мм и размером 594×840 мм^2 имеет покрытия нанесенный с помощью химического травления ($K_2S_2O_8$ + NaOH + H_2O+ $Na_2S_2O_8$) толщиной несколько микрон.

–Утепление двухслойная (фольгированный пенофол и пеноплекс толщиной 30 мм)

–Обратная сторона гелиоколлектора сделана из алюминиевого листа толщиной 2мм

–Бак аккумулятор изготовлен из медного листа толщиной 1 мм герметично заварен с помощью аргоновой сварки. Внутри цилиндра установлен теплообменник в виде спирали из медной трубки диаметром 10 мм и длиной 4,5 метра. Теплоизоляция аккумулятора изготовлена из вспененного полиэтилена с алюминиевой фольгой. С наружной стороны обшито стальным листом толщиной 0,5 мм.

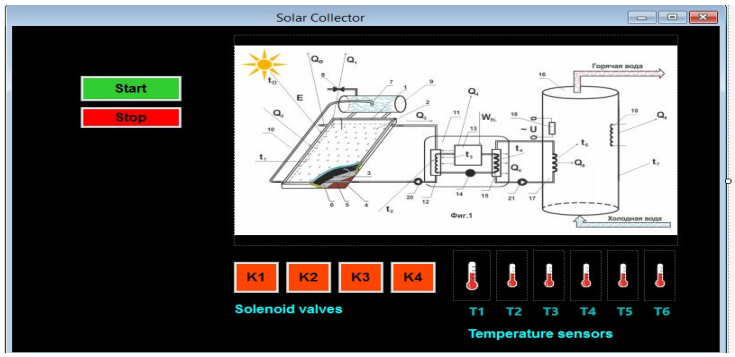


Рис. 4. Интерфейс управления программного обеспечения солнечного котроллера

Рис. 5. Лабораторный вариант двухконтурной гелиоустановки с термосиффонной циркуляцией

Таким образом, проведенные исследования позволяют подтвердить жизнеспособность предлагаемой установки солнечного горячего водоснабжения с использованием коллектора с эффектом сифона.

Впервые установлена зависимость, определяющая время истечения в зависимости от геометрических параметров солнечного коллектора. В целом, как мы наблюдаем из предложенных нами расчётов, разработанная методика позволила установить, что существенное значение на расход теплоносителя оказывают местное гидравлическое сопротивление и трение.

Литература

[1] Tomas, M.; Vladimir, Z.; Juliane, M. Detailed modeling of solar flat-plate collectors with design tool kolektor 2.2, building simulation. In Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland; IBPSA: Loughborough, UK, 2009; 2289–2296.

[2] Duffie, J.A.; Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1980; 23, 73–74, 95–101.

[3] Koyuncu, T. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. Renewable Energy 2006, 31, 1073–1088.

[4] Kicsiny, R. Improved multiple linear regression based models for solar collectors. Renewable Energy 2016, 91, 224–232.

[5] Gao, W.; Lin, W.; Liu, T.; Xia, C. Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat plate solar air heaters. Applied Energy 2007, 84(4), 425–441.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Кунелбаев М.М., Даулбаев С.М., Саржан М.Б.
e-mail: ainur79@mail.ru, murat7508@yandex.kz
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *Представлено описание математической модели солнечной системе солнечного теплоснабжения потребителей теплой водой. Модель позволяет исследовать и оптимизировать как отдельные блоки с конкретными конструктивными и теплофизическими параметрами, так и СВУ в целом при различных климатических условиях и требованиях объекта-потребителя к температуре нагретой воды и режиму ее использования.*

Ключевые слова*: солнечный коллектор, математическая модель*

1. Введение

В связи с ростом энергопотребления в сельскохозяйственном производстве все более остро ставится вопрос об экономии энергетических ресурсов и изыскания возможности использования возобновляемых источников энергии на тепловые нужды сельскохозяйственного производства. Одним из наиболее перспективных направлений

в решении этой задачи является использование солнечной энергии для горячего водоснабжения и отопления сельскохозяйственных потребителей с помощью солнечных водонагревательных установок (СВУ) [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Исходные требования для постановки задачи:

- солнечная водонагревательная установка (СВУ) предназначена для работы на открытых площадках. Пространственное размещение солнечных коллекторов должно быть доступным для прямого солнечного излучения. Температура воздуха должна быть не ниже 0 □С. Установка должна работать с мая по сентябрь;
- установка должна удовлетворять потребность в горячей воде на технологические нужды сельхозпроизводства в соответствии с нормами технологического проектирования животноводческих и жилых помещений;
- принцип работы - нагрев воды в коллекторе и ее движение в бак-аккумулятор за счет естественной циркуляции.

Перечисленным требованиям соответствует установка, состоящая из гелиоводонагревателя с баком-аккумулятором и трубопроводами, представленная на рис. 1.

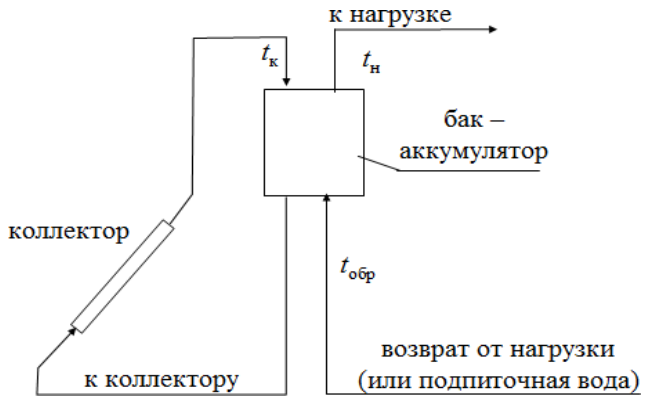


Рис. 1. Схема солнечной водонагревательной установки:
$t_к$ – температура на выходе коллектора, °С; $t_н$ – температура нагретой воды, °С; $t_{обр}$ – температура подпиточной воды

Днище бака-аккумулятора располагается немного выше верхней части коллектора. Такая компоновка исключает затраты дополнительной энергии для циркуляции воды в системе. Циркуляция происходит только вследствие естественной конвекции [7]. Главным элементом солнечной установки является солнечный коллектор. Чаще всего в нем используются плоские коллекторы, состоящие из пластины-поглотителя (абсорбера), на котором солнечная радиация превращается в тепло и передается жидкости- теплоносителю, теплоизолированного по краям и под абсорбером корпуса, который все это содержит.

Также мы рассмотрели математическую модель отдельных конструкций и режим работы двухконтурного солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией. Исходя из результатов анализа, нам удалось оптимизировать отдельные элементы конструкции, а также прогнозировать тепловой режим и выбор

альтернативных решений для проектирования плоских солнечных коллекторов и выбора режима их работы [9].

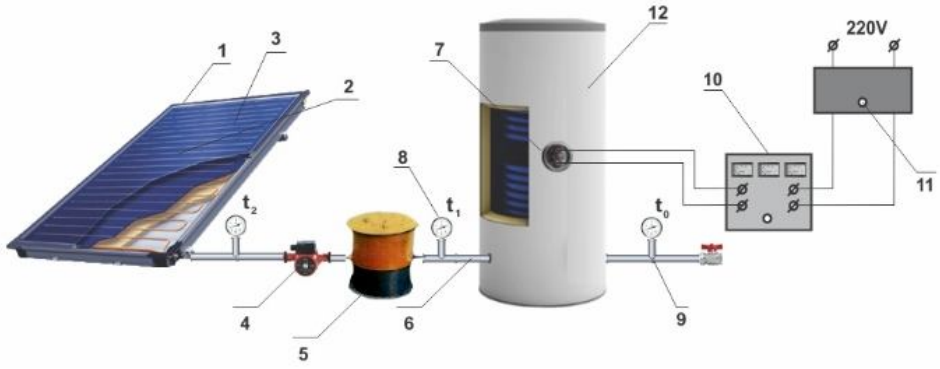


Рис.2 Принципиальная система солнечного теплоснабжения
1 – теплоизолированный корпус; 2 – светопрозрачное покрытие; 3 – бак-адсорбер; 4-циркуляционный насос; 5 – тепловой насос; 6 – трубопровод; 7 – ТЭН; 8, 9 – термометры для измерения температуры воды на входе и выходе из БА и окружающей среды; 10 – комплект электроизмерительных приборов К 501; 11 – автотрансформатор; 12- бак-аккумулятор; 13-контроллер

2. Методика исследования

Основная деталь гелиоколлектора – поглотитель солнечной энергии (абсорбер), в который интегрированы медные трубки (или медная трубчатая спираль), через которые протекает теплоноситель, воспринимающий от него тепло через медную трубку На рис. 2 представлена схема тепловых потоков через поверхности элементов гелиоколлектора.

.

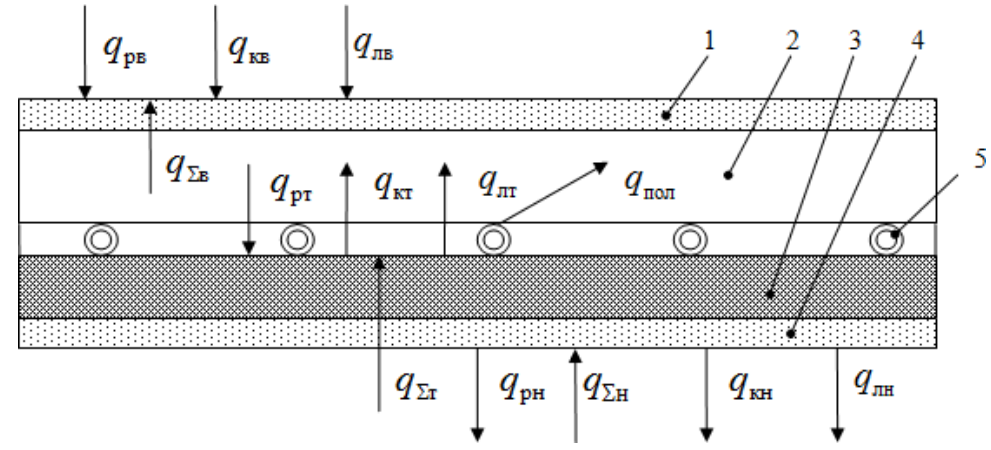


Рис. 3. Схема тепловых потоков, проходящих через поверхности элементов коллектора
1 – верхняя крышка из светопрозрачного материала; 2 – воздушная прослойка; 3 – абсорбер; 4 – нижняя крышка (теплоизолятор); 5 - медная трубчатая спираль

Тепловой режим в элементах гелиоколлектора определяется формой и размерами его профиля, теплофизическими свойствами составных частей и климатическими условиями.

Гелиоколлектор представляет составное твердое тело с поперечными размерами на порядок превышающими его толщину, что позволяет рассматривать процесс теплопереноса в нем как в бесконечно протяженной многослойной плоскопараллельной пластине.

Рис. 4. Натурная модель солнечного гелиоколлектора

3. Результаты исследования

Тепловой процесс в таком теле описывается системой уравнений [8].

$$c_{m,i} p_i \frac{dt_i}{d\tau} = \lambda_i \nabla^2 t_i + q_i \qquad (1)$$

где *i* – номер элемента коллектора, i = 1, 2, 3, 4; *cm* - удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); - плотность, кг/м3; q – удельная мощность внутреннего источника тепла, Вт/м3; t – температура, оС; τ – время, с.

Решение системы уравнений (1) совместно с уравнениями краевых (начальных и граничных) условий дает представление о пространственно–временном распределении температуры в коллекторе.

Начальные условия:

при $\tau = 0$

$$t_i = (t_i)_0 \qquad (2)$$

Теплообмен на границах элементов коллектора осуществляется согласно граничным условиям:

$$\lambda_i (\frac{dt_i}{dn_i})_П = \lambda_j (\frac{dt_i}{dn_i})_П; \qquad t_{i,П} = t_{j,П}$$

где *i* и *j* – номера граничащих элементов коллектора; *n* – нормаль к поверхности, п – поверхность.

4. Заключение

В данной работе было проведено математическое моделирование солнечной системы солнечного теплоснабжения. Модель позволяет исследовать и оптимизировать как отдельные блоки с конкретными конструктивными и теплофизическими параметрами, так и СВУ в целом при различных климатических условиях и требованиях объекта потребителя к температуре нагретой воды и режиму ее использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутузов. В.А. Солнечное теплоснабжение. Состояние дел и перспективы развития / В.А. Бутузов // Энергобережение. - 2000. - №4. - С. 28 - 29.

2. Марахтанов Солнечный коллектор для отопления семейной фермы / М.К. Марахтанов // Достижения науки и техники АПК.– 1989. -
№7. - С. 49-52.

3. Осетров А.П., Шакин Н.И., Золочевский М.Т. Мобильные ге- лиоустановки / А.П. Осетров, Н.И. Шакин, М.Т. Золочевский // Механи- зация и электрификация сельского хозяйства.- 1989. - №5. - С. 36-37.

4. Пястолов А.А, Саплин Л.А., Шерьязов С.К. Гелиоустановка для летней доильной площадки / А.А. Пястолов, Л.А Саплин, С.К. Шерь- язов // Достижения науки и техники АПК.– 1989. - №7. - С. 48-49.

5. Устройство и эксплуатация гелиосистем для теплоснабжения животноводческих ферм. (Методические указания) / Государственный агропромышленный комитет РСФСР. – М.: Россельхозиздат, 1988. – 27 с.

6. Керимов М.А (Азербайджанский Технический Университет), Салманова Ф.А. (Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана). (Email:firuze2006@box.az.)

7. Даффи Дж. А, Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У.А. Бекман - М.: Мир, 1977. - 470 с.

8 Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. - Минск: Изд-во Академии наук БССР, 1969. – 520 с.

9. YedilkhanAmirgaliyev, Murat Kunelbayev, Aliya Kalizhanova, OmirlanAuelbekov, NazbekKatayev, AinurKozbakova. Theoretical And Mathematical Analysis Of DoubleCircuit Solar Station With Thermo Siphon Circulation. Journal Of Polytechnic-PoliteknikDergisi . 2019. 22(2),pp. 485-493

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО КОТРОЛЛЕРА ДЛЯ ДВУХКОНТУРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Кунелбаев М.М., Козбакова А.Х., Даулбаев С.М., Мерембаев Т., Айткулов Ж., Черикбаева Л. Ш.
e-mail: ainur79@mail.ru, murat7508@yandex.kz
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Абстракция. *В настоящей работе рассматривается алгоритм управления и программное обеспечение создания цифровой платформы на базе Mojo v3 для мониторинга за функционированием двухконтурного плоского солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией. Разработан и исследован алгоритм управления и создан программный продукт для управления температурными данными двухконтурного солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией. В предложенной системе измерения производятся из 6 цифровых датчиков (DS18B20 Dallas), используемые 16 проводов. Используя датчики Далласа и соответствующее программное обеспечение, можно контролировать уровень температуры и количества теплоты. Использование 6 цифровых датчиков значительно повышают эффективность управления за системой и увеличивает скорость обработки данных. Рассмотрены возможности конфигурирования датчиков для платформы Mojo v3, а также схема управления гелиоколлектором.*

Ключевые слова: *солнечная энергия, плоский солнечный коллектор, платформа Mojo v3, контроллер упраления*

Введение

Использования возобновляемых источников энергии способствуют распространению постоянного увеличения спроса на энергию и на расширение участия экологически чистых технологий. Фототермическое преобразование в солнечных тепловых системах является одним из наиболее распространенных способов использования этой энергии [1,2]. Необходимость предоставления соответствующих рабочих параметров системы обеспечивает использование правильно выбранных и настроенных контроллеров. Солнечные контроллеры производятся многими компаниями и фирмами[3,4,5,6]. Несмотря на широкий спектр доступных решений, контроллеры по-прежнему в основном являются устройствами с замкнутой структурой и практически не имеют возможностей расширения. С другой стороны, гибкие решения, основанные на программируемых контроллерах (PLC Programmable Logic Controller), применимы только в больших системах из-за очень высокой стоимости ПЛК [7]. Однако в последнее время можно заметить растущий спрос на модульные контроллеры, полностью программируемые, которые позволяют интегрировать несколько систем в единую операционную систему. Не менее важным для пользователей представляется реализация ряда дополнительных функций. Например, система управления и контроля через Интернет [9] или использование источника питания с фотоэлектрическими панелями [10, 11]. До настоящего времени реализации таких систем полагались только на ПЛК, однако из-за их высокой стоимости они редко используются в жилых установках. Хотя модульность и расширяемость уже

предлагаются несколькими производителями солнечных контроллеров, например, [5] Однако программное обеспечение этих устройств все еще закрыто. С распространением недорогих платформ микроконтроллеров, таких как Arduino [8], стало возможным проектировать контроллеры в небольшой серии и адаптировать их программное обеспечение к потребностям конкретного клиента. Также стоит отметить, что такие контроллеры могут быть легко модернизированы при расширении поддерживаемой системы. Независимо от конструкции, солнечные контроллеры для нестандартных, сделанных на заказ установок должны соответствовать требованиям, определенным стандартом PN-EN 12977 [12, 13].

2. Метод исследования

Плоские солнечные коллекторы с термосифонной циркуляцией используются для преобразования падающего солнечного излучения в тепловую энергию. Эта энергия накапливается в виде ощутимого тепла в резервуаре для хранения жидкости и используется по мере необходимости для питания помещений и нагрева воды. На рисунке 1. показана двухконтурная гелиоустановка с термосиффонной циркуляцией.

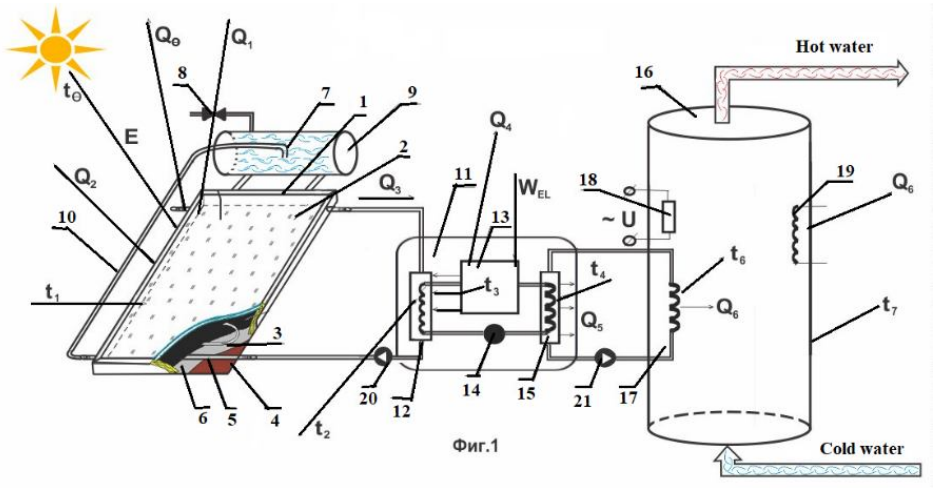


Рис. 1-Принципиальная схема двухконтурной гелиоустановки
с термосиффонной циркуляцией

Работа предлагаемой установки осуществляется следующим образом. Солнечная энергия E с температурой t_0 поглощается гелиоколлектором 1, с температурой t_1, нагревая поток солнечной энергии проходит через светопрозрачный изоляционный стеклопакет 2. Тепло, полученное от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках 3, которая удаляется из коллектора, а на ее место поступает холодная вода из трубопровода с вентилем для холодной воды 8, а из сифона бака дозатора 7 происходит постоянная терма сифонная циркуляция с помощью циркуляционной трубы 10. Далее жидкость попадает в тепловой насос 11, который состоит из испарителя 12 конденсатора с температурой t_2, в котором теплообменник выполнен в виде спирали, поглощая тепло теплоносителя, опускает его температуру ниже температуры атмосферного воздуха (Q_2) с

помощью дросселирующего клапана 14, тем самым способствуя дополнительному поглощению тепла из атмосферного воздуха. В схеме также показано солнечное излучение, отраженное от полупрозрачного покрытия (Q_0) и поверхности поглощающей панели (Q_1). В тепловом насосе осуществляется передача энергии теплоносителя, с относительно низкой температурой, к теплоносителю теплообменника конденсатора 15 в виде спирали с более высокой температурой t_2, которая увеличивает площадь, а так же интенсивность теплообмена. Для осуществления такого цикла используется компрессор 13 с температурой t_3, с электроприводом 17. Далее, посредством теплообменника конденсатора 15 с температурой t_4, тепло от теплового насоса (Q_5) передается в бак аккумулятор теплообменника Q_6 с температурой t_6 системы отопления 18. Так как установка имеет два контура, она снабжена автоматическими циркуляционными насосами 19 и 20 для циркуляции жидкости между гелиоколлектором и испарителем, конденсатором и баком- аккумулятора. Температура воды доводится до требуемого технологического уровня и подается к потребителю на цели горячего вода снабжения и отопления [14].

На рисунке 2 изображена модель плоского солнечного коллектора Сущность и новизна состоит в том, что в отличие от известного принципа конструирования, коллектор содержит прозрачный стеклопакет 2 с двойным стеклом и с уменьшенным давлением, а также периметрическую раму 1. Днище деревянной рамы 7 сделана из фанеры толщиной 8 мм. и к ним приклеена теплоизолирующая пленка 5 с фольгой. В зазоре образующиеся между стеклопакетом и днищем рамы проложена гибкая тонкостенная нержавеющая гофрированная трубка 4∅16 мм.в виде змеевика. Концы трубки прикреплены к входным и выходным торчащим трубам 6.

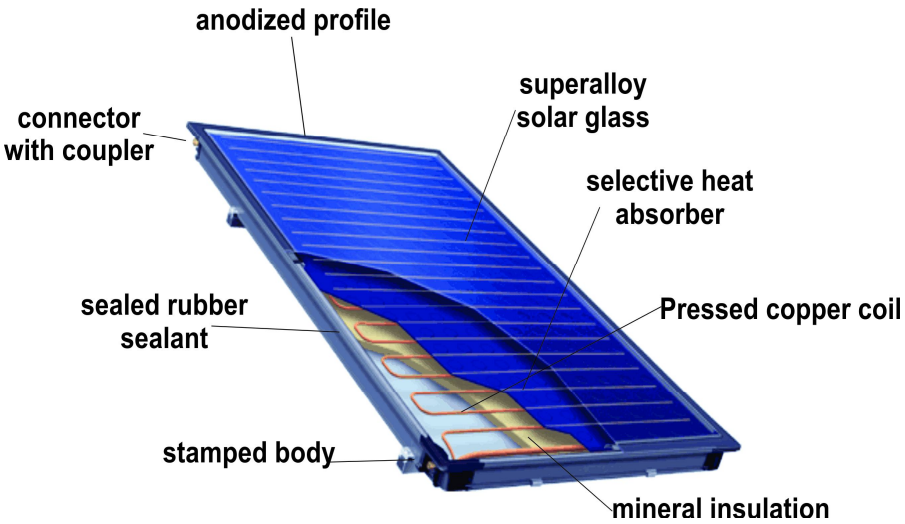


Рисунок 2- Принципиальная схема плоского солнечного коллектора

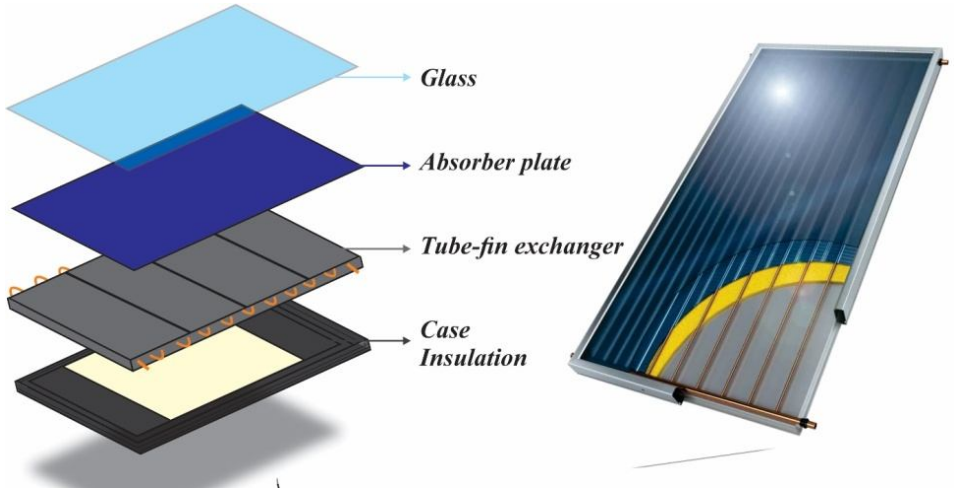


Рисунок 3. Принципиальная схема плоского солнечного теплового коллектора в разобранном виде

Как показано на рис. 4, солнечный энергия проходит через стекло и ударяется о пластину поглотителя, которая нагревается, превращая солнечную энергию в тепловую энергию. Тепло переносится на рабочую жидкость, которая проходит через трубки, прикрепленные к пластине поглотителя.

4. Функциональность солнечного терморегулятора

Основная функция каждого солнечного контроллера - управление насосом солнечного контура на основе разности температур между коллектором и баком для горячей воды [1]. В более крупных системах поддерживаются группы коллекторов, которые расположены на разных частях крыши. Такие системы часто поддерживают группу резервуаров с горячей водой, бассейн или пол с подогревом. Простые контроллеры позволяют генерировать только управляющий сигнал для насосов. Более сложные контроллеры также позволяют управлять насосами переменной скорости с помощью сигнала ШИМ (широтно-импульсная модуляция), что позволяет улучшить качество управления, а также помочь снизить потребление электроэнергии. Эффективность дифференциального термостата 81 была детально изучена в 80-х и 90-х годах двадцатого века [14]. Несколько исследований, например, [15] указывают на значительную связь между выходом энергии и настройкой дифференциального термостата. Показано, что использование переменного гистерезиса контроллера, адаптированного к текущим системным условиям, позволяет увеличить выход солнечной энергии и, кроме того, снизить потребление электроэнергии. Однако практически все имеющиеся в продаже солнечные терморегуляторы обеспечивают управление насосом на основе постоянный гистерезис. Можно отметить, что введение дифференциального термостата с переменным гистерезисом в зависимости от реальных условий работы солнечной системы легко реализовать с помощью программируемого контроллера. Описан прототип контроллера в этой статье разрешается как управлять насосами, используя сигнал включения-выключения, так и переменную скорость, используя сигнал ШИМ. Важным дополнением к дифференциальному термостату является

обеспечение дополнительных функций управления и защиты. Наиболее распространенными могут быть следующие: управление циркуляционным насосом горячей воды, защита от замерзания или периодический перегрев бака для горячей воды, чтобы предотвратить рост Legionella. Однако существует ряд функций, которые существенно поддерживают работу солнечной системы, которые редко реализуются в солнечных контроллерах. Например, редкостью среди контроллеров является защита солнечных коллекторов от чрезмерного повышения температуры в случае недостаточного приема тепла (например, в праздничный сезон). Многие провайдеры предлагают жалюзи для затенения коллекторов, но очень часто им требуется отдельный контроллер. Модульный солнечный контроллер может реализовывать такую функцию в центральном блоке или предоставлять в качестве дополнительного модуля расширения. Надежный источник питания является основным требованием для правильной работы всех систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Потеря электропитания в солнечной тепловой коллекторы вызывают прерывание приема тепла, что в результате приводит к очень быстрому повышению температуры коллектора. Увеличение объема жидкости должно компенсироваться расширительным баком в хорошо спроектированной системе, но слабость конструкции или реализации, а также дефект расширительного бака могут привести к повреждению системы. По этой причине значительное количество пользователей солнечной системы принимают решение об инвестициях в аварийный источник питания [10] или даже в общую систему питания с использованием фотоэлектрических панелей [11]. Это все более обоснованно, так как наибольшая потребность в мощности, связанная с циркуляционным насосом при максимальной мощности, совпадает с самой высокой мощностью, генерируемой фотоэлектрическими элементами. Как указывалось в ранее упомянутых работах [10, 11], управление питанием должно подключаться к контроллеру солнечной тепловой системы, поскольку это повышает общую надежность системы. Общей особенностью всех солнечных контроллеров является предоставление информации о работе поддерживаемой системы. Основные контроллеры обеспечивают только показания 3–4 датчика температуры в баках и коллекторах горячей воды. Более сложные устройства позволяют использовать до 5–7 датчиков температуры. Во многих солнечных системах даже этого количества датчиков может быть недостаточно. Ценная информация об эффективности солнечной системы может быть предоставлена с помощью теплосчетчика, особенно в сочетании с измерителем солнечной радиации. К сожалению, эта функция доступна только в очень немногих контроллерах, и использование внешнего счетчика тепла, предназначенного для солнечных установок, является существенным вложением. Аналогичным образом, могут быть другие полезные дополнительные функции, помогающие контролировать работу солнечной тепловой системы, например: регистратор данных с картой памяти, визуализация солнечной системы через Интернет или метеостанцию.

3. Прототип модульного контроллера для солнечной тепловой системы

Контроллеры, предназначены для управления солнечными тепловыми установками, в частности, должны характеризоваться модульной структурой. Это

позволяет обновить функциональность контроллера с дальнейшим развитием установки. В этой главе представлен пример прототипа модульного солнечного контроллера, основанного на свободно программируемой платформе Mojo v3 FPGA board [8]. Блок-схема контроллера показана на (рис. 1). Прототип контроллера состоит из центрального блока, объединяющего все основные функции управления, и трех основных модулей расширения: системный мониторинг, резервное электропитание и метеостанция.

Центральный блок солнечного контроллера основан на платформе Arduino Ethernet (рис. 4). В этой системе используется микроконтроллер Atmel ATmega328, работающий на тактовой частоте 16 МГц. Оснащенный коммуникационными интерфейсами, такими как SPI, I2C [16] и Ethernet, позволяет подключать несколько дополнительных модулей. Для обеспечения элементарного локального обслуживания контроллер оснащен небольшим графическим дисплеем (диагональ 1,8 дюйма, разрешение 160 × 128 пикселей), который обменивается данными с микроконтроллером через шину SPI. В дополнение к коммуникационным интерфейсам центральный блок оснащен 6 аналоговыми входами (например, для датчиков температуры) и 9 доступными цифровыми входами / выходами (включая 4 ШИМ для управления скоростью насоса). Это количество каналов ввода / вывода позволяет настроить программное обеспечение для поддерживаемая установка. Микроконтроллер программируется на языке, аналогичном C, с использованием среды разработки программного обеспечения Arduino IDE.

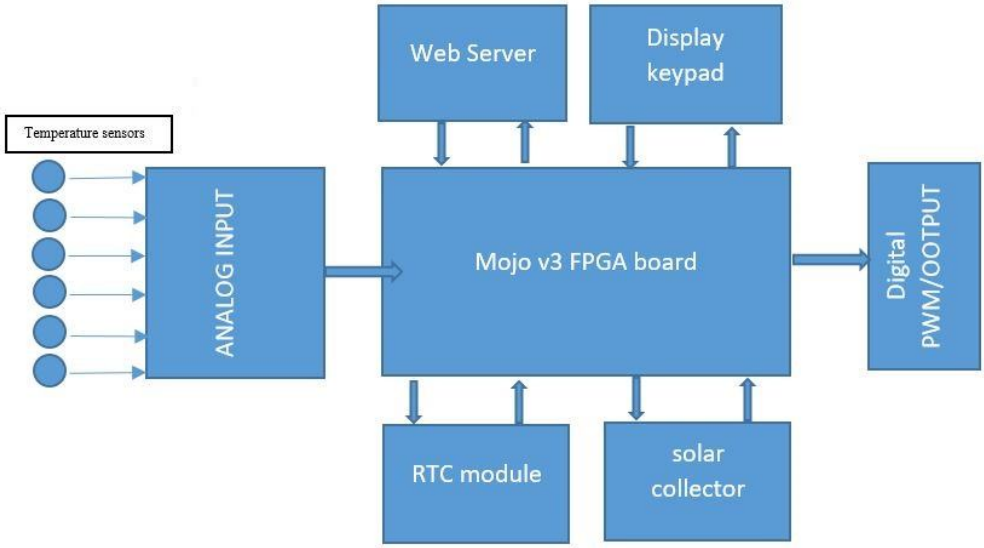
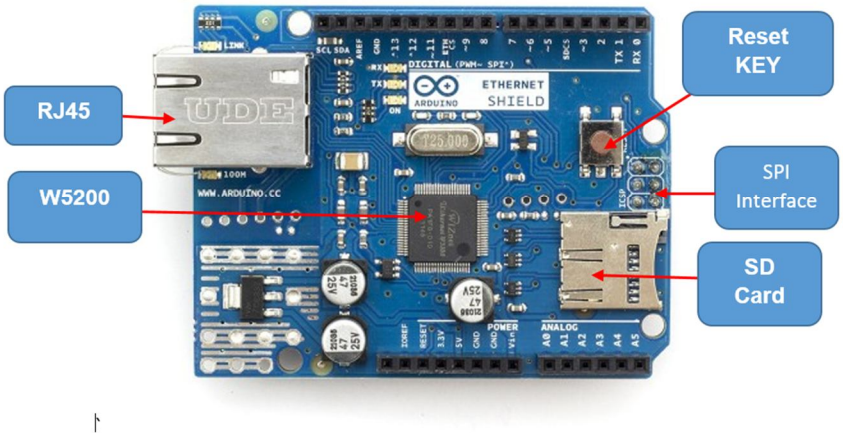


Рис. 4. Блок-схема контроллера управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией



RJ45- порт Ethernet; Reset KEY- сброс Ethernet щита и Arduino при нажатии; SD-карта- поддержка Micro SD-карты в FAT16 или FAT32; максимальный объем памяти составляет 2 ГБ; IC W5200- аппаратный контроллер TCP / IP Ethernet.

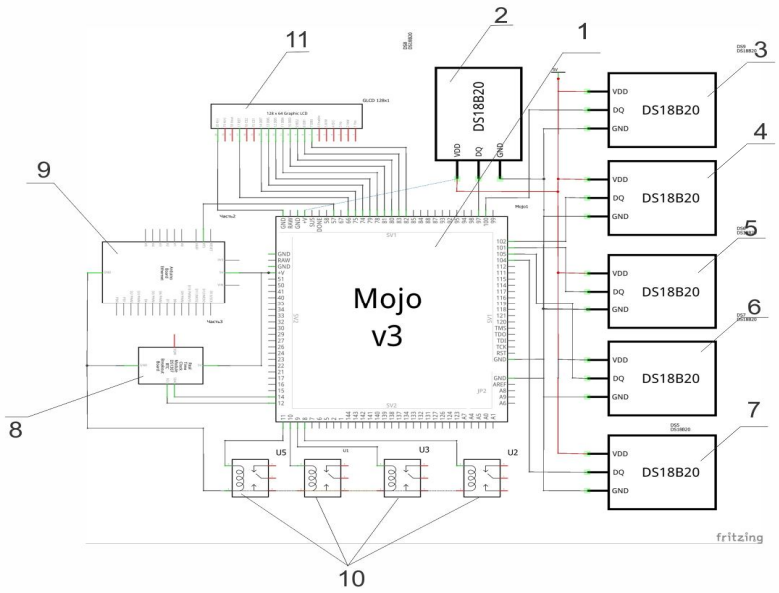
Рисунок 5. Центральный блок контроллера управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией

В представленном контроллере предусмотрен ряд функций мониторинга для солнечной установки. Использование слота для карты памяти micro-SD, встроенного в систему Arduino, позволяет реализовать регистратор данных, записывающий выбранные данные о работе установки. Диаграмма (Рис. 3) приведен образец записанных данных выбранных параметров работы солнечной установки. Большое количество измерительных каналов позволяет добавить дополнительные датчики температуры на входе и выходе солнечного коллектора, а также расходомер. Использование этих датчиков позволяет реализовать теплосчетчик, который можно использовать при анализе эффективности солнечной энергии. Общий доступ к Интернету дает возможность для мониторинга многих современных систем через Интернет [9]. Прототип контроллера представляет собой простое программное обеспечение веб-сервера, которое позволяет контролировать работу установки на компьютере (или мобильных устройствах, таких как смартфоны) в домашней сети. В целях безопасности эти данные не должны публиковаться в Интернете. Уведомление о событиях через SMS в прототипе системы не было реализовано, хотя это полезная функция. Однако возможно дальнейшее расширение системы с использованием дополнительного модуля связи GSM. Для обслуживания относительно небольших солнечных установок это представляется невыгодным, поскольку требует дополнительных сборов за передачу данных. Уведомление по электронной почте с использованием встроенного модуля Ethernet представляется лучшим решением для такой системы.

Эксперимент

В настоящем исследовании шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 2,3,4,5,6,7 регистрирует температуру плоского солнечного коллектора с

термосифоном. Датчики контролируются программируемой логистической интегральной схемой 1 Mojo v3. Записи показания температур, хранящихся на ETHERNET modul 9, в каждые интервалы времени 5с отправляет температурные данные и состояния клапанов 10. Часы реального времени (RTC) 8, записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на программируемую логистическую интегральную схему Mojo v3. Шесть датчиков подключены к плате Mojo v3. с шестью электрическими проводами, запрограммированный на языке VHDL, что после обработки данных температуры, дата и время, полученные от RTC 8, соответственно, сохраняют их в XML (расширяемый язык разметки) в ETHERNET module.



Фиг. 1

Рис. 6. Принципиальная схема соединения Mojo V3 с датчиками системы управления контроллером

Язык XML облегчает обработку этих данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы работы установки отображаются на дисплее 11.

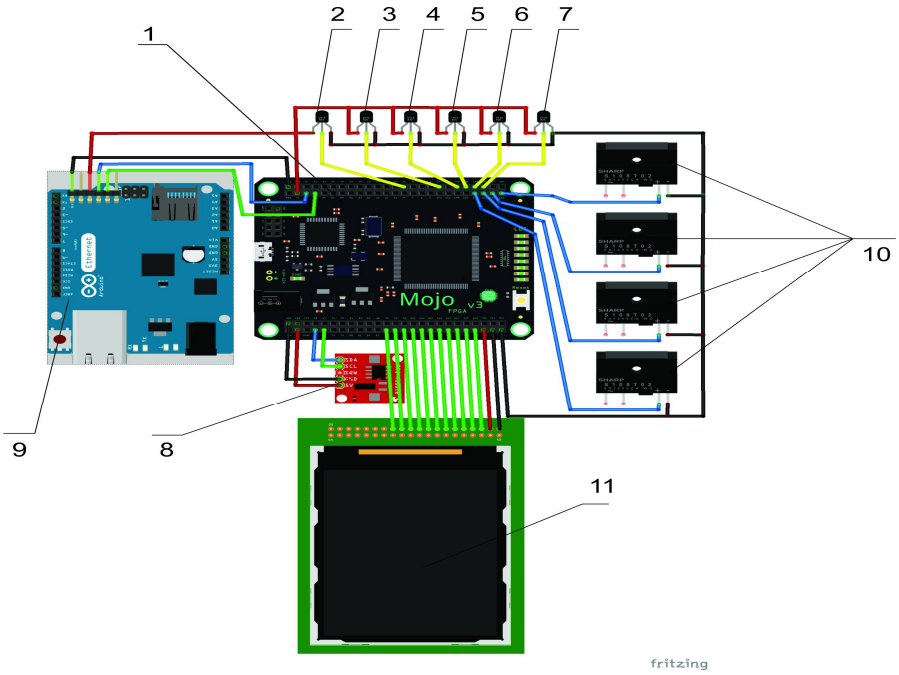


Рис.7. Принципиальная схема контроллера **на** платформе Mojo v3

Для создания и исследования платформы мониторинга тепловой системы управления солнечной установки основанной на использовании платформы Mojo v3, описан принцип работы каждого элемента, из которого будет выполнен контроллер сетевого управления и мониторинга.

Mojo v3 является программно-логической интегральной схемой Spartan 6 XC6SLX9 FPGA, 84 с цифровыми ввод-выводами, 8 аналоговыми входами. 8 светодиодов общего назначения, 1 кнопка сброса, 1 светодиод, чтобы показать, когда FPGA правильно настроен.

Встроенное регулирование напряжения может выдержать 4,8 В - 12 В. А также состоит из микроконтроллера (ATmega32U4), используемый для настройки FPGA, USB-связи и считывания аналоговых выводов. Встроен совместимый загрузчик Arduino, позволяющий легко программировать и микроконтроллер. На борту флэш-памяти для хранения файла конфигурации FPGA версия Mojo v3 отличается более надежным портом USB, чем v2, незначительными косметическими изменениями и обновленным микроконтроллером с дополнительной памятью для добавления собственного кода.

Приведен программный код на языке VHDL, для управления двухконтурной гелиоустановки с термосиффонной циркуляцией, который содинен через Ethernet модуль с Веб Сервером.

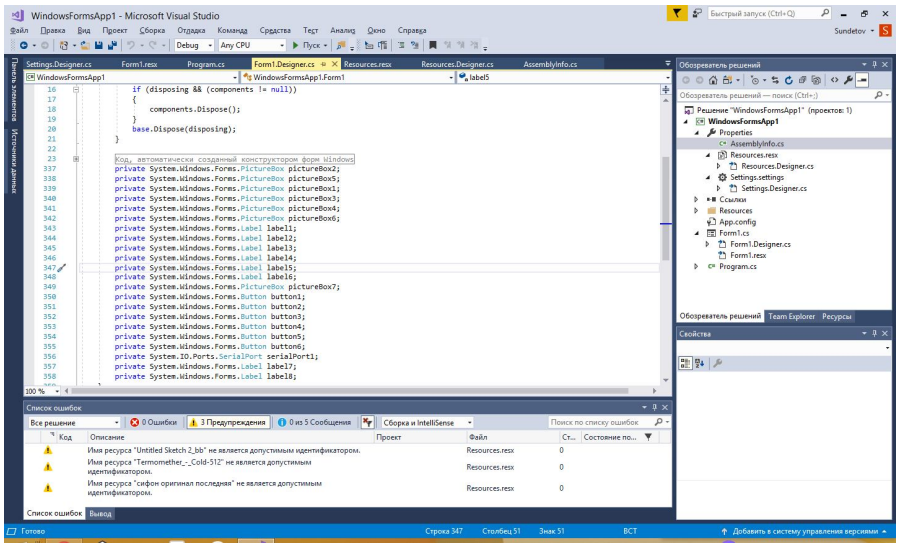


Рис. 8. Среда разработки Visual Studio для объявления элементов на программном ресурсе

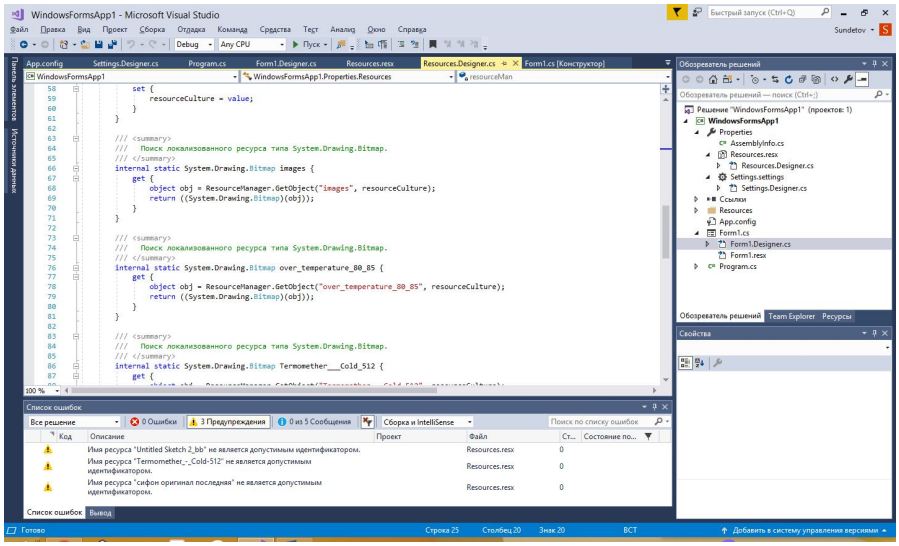


Рис. 9. Среда разработки Visual Studio для связки элементов программного ресурса

В программном обеспечении NET Ethernet_MAC_COL LOC являются локальными MAC адресами для соединения с Веб Сервером. NET LED[0] LOC- порты для управления клапанами и температурными датчиками. NET uart1_sin LOC- порты для обмена данными. NET "CLK_100MHZ" TNM_NET = sys_clk_pin- скорость соединения Ethernet модуля с Веб Сервером. TIMESPEC TS_sys_clk_pin = PERIOD sys_clk_pin 100000 kHz- период NET "RESET" LOC = "B6" | IOSTANDARD = LVCMOS33 | DRIVE = 8 | SLEW = FAST | PULLDOWN = TRUE- порты для перезагрузки связи с Веб Сервером.

Работа программного обеспечения основывается для считывания температурных данных через Ethernet и визуально показывает на ЖК- дисплее и Веб

Сервере. А также можно управлять через Веб Сервер электромагнитными клапанами. В программном обеспечении имеется дополнительная интеллектуальная программа, которая зависит от температурных данных термосифонного гелиоустановки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе разработан и исследован новый контроллер управления двухконтурного гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией. Для создания и исследования платформы мониторинга тепловой системы управления солнечной установки на базе двухконтурного плоского солнечного коллектора основанной на использовании платформы Mojo v3, описан принцип работы каждого элемента, из которого выполнен контроллер сетевого управления и мониторинга. Разработан алгоритм программы, которая активирует библиотеки и константы, вдальнейшем подключается модуль часы в реальном времени, активация температурных датчиков и активация связи с сервором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalogirou S., Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science, 30, 2004, 231–295.
2. Wang Z., Yang W., Qiu F., Zhang X., Zhao X., Solar water heating: From theory, application, marketing and research, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 2015, 68–84.
3. http://www.compit.pl/katalog/kategoria_12_regulatory-ukladow-solarnych.html [online: 02.06.2015]. 86
4. http://www.geco.pl/prod.php?id=169&lang=pl [online: 02.06.2015].
5. http://www.steca.com/index.php?Solar_Electronics_by_Steca [online: 02.06.2015].
6. http://www.caleffi.com/usa/en-us/catalogue/solar-1 [online: 02.06.2015].
7. Nagaraju J., Garud S.S., Ashok Kumar K., Ramakrishna Rao M., 1MWth industrial solar hot water system and its performance, Solar Energy, 66, 1999, 491–497.
8. http://www.arduino.cc [online: 02.06.2015].
9. Stettler S. et al., Web-based functionality check for solar heating systems, Energy Procedia, 48, 2014, 674–680.
10. Porzuczek J., Zabezpieczenie ciągłości zasilania w małych systemach HVAC, Przegląd Naukowo-Metodyczny, nr 24, Poznań 2014, 665–670.
11. Grassie T., MacGregor K., Muneer T., Kubie J., Design of a PV driven low flow solar domestic hot water system and modeling of the system collector outlet temperature, Energy Conversion and Management, 43, 2002, 1063–1078.
12. PN-EN 12977-5:2012, Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy – Systemy wykonywane na zamówienie, Część 5: Metody badania wydajności wyposażenia regulacyjnego.
13. Peter M., Drück P., Testing of controllers for thermal solar systems, Solar Energy, 82, 2008, 676–685.

14. Muralidhar G.K., Nagaraju J., Mohan S., Differential temperature controller: An energy conservative device for solar water heating system, Energy Conversion and Management, Vol. 31, issue 1, 1991, 61–63.

15. Kicsiny R., Farkas I., Improved differential control for solar heating systems, Solar Energy, 86, 2012, 3489–3498.

16. Mielczarek W., Szeregowe interfejsy cyfrowe, Helion 1993. [17] http://www.label.pl/po/rek900.mx.html [online: 02.06.2015].

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА ВЕРХНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

Кунелбаев М.М., Мұратханова Т., Исламгожаев Т.
e-mail: ainur79@mail.ru, murat7508@yandex.kz
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *Теплообмен на границах элементов гелиоколлектора и окружающей среды весьма сложен. Теплообмен и теплопередача происходят одновременно несколькими способами: кондукцией, конвекцией и излучением. Роль способов теплопередачи в общем теплообмене гелиоколлектора различна и зависит как от теплофизических характеристик материала его элементов, так и от состояния воздушной среды, омывающей внешние и внутренние поверхности.*

1.Введение

Ископаемое топливо и ядерная энергетика для устойчивого развития энергоресурсов в настоящее время должны быть оперативно заменены возобновляемыми источниками энергии. Возобновляемые источники энергии стабильны и способны удовлетворить текущие и будущие прогнозируемые глобальные потребности в энергии без какого-либо воздействия на окружающую среду. Для устойчивого удовлетворения потребностей мировой энергетики возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, гидроэнергетика и биогаз, являются подходящими альтернативами. Лучшая альтернатива для удовлетворения растущего спроса на энергию - солнечная энергия. Преобразование солнечного излучения в тепло является одним из самых простых и непосредственных способов использования его мощности. Плоский солнечный коллектор - устройство, используемое для преобразования солнечной энергии в тепловую. Плоские солнечные коллекторы в настоящее время наиболее часто используются во всем мире в коммерческих и бытовых системах водяного отопления. Следовательно, средства отечественного сектора могут уменьшить свое влияние на окружающую среду путем установки плоских солнечных коллекторов для нагрева воды. Плоские пластины, вакуумированные трубы или концентрационные коллекторы - это солнечные коллекторы для горячей воды для

бытовых нужд. Наиболее часто используемый тип для низкотемпературной среды - это однослойная плоская пластина.

Основным элементом солнечного водонагревателя является плоский пластинчатый коллектор. Пластина абсорбера служит центральным элементом коллектора. Тепловые характеристики солнечного коллектора зависят от оптических и тепловых свойств, а также от конструкции пластины поглотителя. Стандартный плоский коллектор состоит из поглотителя в изолированной коробке вместе с прозрачными покрытиями (остекление). Поглотитель обычно изготавливается из металлического листа с высокой теплопроводностью, такого как медь или алюминий, со встроенными или присоединенными трубками. Его поверхность покрыта специальным селективным материалом, чтобы максимизировать поглощение лучистой энергии при минимизации излучения лучистой энергии. Изолированная коробка снижает тепловые потери в плоском коллекторе коллектора с его задней и боковых сторон [1]. Самый простой и наиболее широко используемый коллектор - это термосифонная или естественная циркуляционная система солнечных водонагревательных систем (SWHS). Он состоит из пластинчатого коллектора, накопительного резервуара и соединительных трубок. Коллектор состоит из абсорбера пластины, стояк и коллекторные трубы, стеклянную крышку, корпус и изоляцию. Вода в трубах стоячей трубы нагревается и направляется в резервуар для хранения из-за разницы в плотности. Их поток зависит от термосифонной головки, зависящей от эффекта плавучести, который связан с изменением плотности воды, вызванным повышением температуры воды в солнечном коллекторе. Солнечная энергия используется в различных областях для многих применений. В работах [2,3] было проведено достаточное количество экспериментов по превращению солнечной энергии в тепло. Было выполнено много работ с использованием однофазной технологии теплопередачи. В исследованиях [4,5,6,7] эксперименты проводились в солнечном коллекторе с плоскими пластинами с использованием однофазного процесса теплообмена, с применением неизолированного резервуара для воды и неизолированной соединительной трубки, а также изолированного резервуара для воды и изолированная трубка. Для этой цели плоский солнечный коллектор действует как нагреватель, а резервуар для воды поддерживает горячую воду. Существует возможность отрезать колоссальные потери тепла от резервуара, а также от соединительной трубы. Окончательный результат - это повышение температуры воды и повышение производительности плоского коллектора, что произойдет. Плоский солнечный коллектор обычно используется для преобразования солнечной энергии в полезную тепловую энергию. Коллектор в системах отопления и водоснабжения рассчитан на умеренную температуру. Благодаря отсутствию затрат на электроэнергию по сравнению с обычными электронагревателями, использование солнечных водонагревателей играет важную роль [8]. Производительность солнечного коллектора снижается из-за более высокого коэффициента теплопередачи из-за верхней потери мощности и, следовательно, из-за более низких тепловых характеристик [9]. Было определено, что общие потери тепла, 75%, происходят со стороны верхнего коллектора [10]. В данной статье было определено влияние излучающей и поглощающей способности поверхности на характеристики различных температур [11].

2. Методика исследования

Для формулирования условий на границе «верхняя поверхность гелиоколлектора – примыкающий слой воздуха» введем следующие упрощения:

- граница «поверхность гелиоколлектора – прилегающий слой воздуха» представляет собой поверхность, совпадающую с поверхностью гелиоколлектора;

- теплофизические характеристики наружных элементов гелиоколлектора и прилегающего слоя воздуха, а также метеорологические параметры вдоль поверхности гелиоколлектора не изменяются.

С учетом вышеизложенного, и принимая во внимание схему тепловых потоков через верхнюю поверхность «коллектор – примыкающий слой воздуха», уравнение теплового баланса на этой поверхности примет вид:

Тепломассоперенос в медной трубчатой спирали коллектора удобнее рассмотреть ниже.

$$q_{\sum \text{В}} = q_{\text{рв}} - q_{\text{кв}} - q_{\text{лв}},$$

где $q_{\sum \text{В}}$- плотность теплового потока через верхнюю поверхность гелиоколлектора, Вт/м2; $q_{\text{рв}}, q_{\text{кв}}, q_{\text{лв}}$ - плотности тепловых потоков, обусловленные интенсивностью солнечной радиации, конвекцией и тепловым излучением с поверхности гелиоколлектора, соответствен- но, Вт/м2.

$$\text{q}_\text{р} = q_p^{\text{ПР}} + q_\text{д}.$$

Геометрические соотношение, описывающие положение плоскости, определенным образом ориентированной относительно Земли в какой-либо момент времени, и прямого солнечного излучения, то есть положение Солнца относительно этой плоскости, могут быть записаны с помощью ряда углов. Для плоскости, ориентированной произвольным образом, это выражение будет иметь вид [7]:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(S) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(S) \cdot \cos(\gamma) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(S) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(S) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega),$$

где - угол падения прямого солнечного излучения, измеряемый между направлением излучения и нормалью к поверхности, ˚; склонение, то есть угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора (положительное для северного полушария), ˚;φ - широта местности (положительная для северного полушария), ˚; S - угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью (то есть наклон), ˚; γ - азимутальный угол плоскости, то есть отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, направление к Востоку считается положительным, к Западу – отрицательным), ˚; ω - часовой угол, равный нулю в солнечный полдень; каждый час соответствует 15˚ долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня – отрицательными, например, ω =15˚ в 11.00 и ω =37,5˚ в 14.30), …˚.

$$\omega = 180 - \left(\frac{180}{12}\right)\tau.$$

Склонение можно определить по формуле [9]:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left[360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right]$$

где n – порядковый номер дня года.

Таким образом, интенсивность солнечной радиации на верхней поверхности коллектора вычисляется по формуле:

$$q_p = \left(q_{\text{пр}} \cdot \cos(\theta(\tau)\right) + q_{\text{д}}), \text{если } \cos\theta(\tau) \le 0, \qquad q_p = q_{\text{д}}.$$

Как известно, часть радиации, падающей на какую-либо поверхность, отражается от нее. Величина, характеризующая отражательную способность поверхности, оценивается с помощью теплофизической характеристики, называемой альбедо и определяется соотношением

$$r_{\text{ВП}} = \frac{q_{\text{р}}^{\text{отр}}}{q_p}$$

3.Результат исследования

Большую роль в теплообмене на верхней поверхности коллектора имеет конвекция.

Закон конвективного теплообмена достаточно сложен, но для практических расчетов может быть принят в виде закона Ньютона [10, 11].

$$q_{\text{кв}} = \alpha_{\text{кв}}(t_{\text{ПВ}} - t_{\text{В}}),$$

где $\alpha_{\text{кв}}$ - коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/м2·К; tв – температура приземного слоя воздуха; tвк - температура верхней поверхности коллектора.

Численное значение конвективного коэффициента теплообмена может быть рассчитано как по экспериментальным данным, так и по упрощенным формулам

При инженерных расчетах не требуется высокой точности, а сведения, которые могут быть использованы в качестве исходных данных, бывают весьма ограничены. Исходя из сказанного, определенный практический интерес представляют упрощенные формулы определения. кв

Рассмотрим, например, формулы [10]:

- Юргенса

$$\alpha_{\text{КВ}} = 6{,}17 + 4{,}19\nu_{\text{i}}$$

Римана

$$\alpha_{\text{КВ}} = 6{,}17 + 3{,}61\nu_{\text{i}}$$

где νв – приземная скорость воздуха, м.

Эти выражения целесообразно заменить одним уравнением, усреднив коэффициенты при скорости ветра:

$$\alpha_{КВ} = 6{,}17 + 3{,}9\nu_i$$

Таким образом, расчет величины прост и требует в качестве исходных данных только сведений о скорости движения воздуха. кв □

Тепловой поток, обусловленный лучистым теплообменом.

Величину теплового потока, вызванного лучистым теплообменом между верхней поверхностью коллектора и прилегающим слоем воздуха можно рассчитать по формуле [10, 11]:

$$q_{ЛВ} = \sigma_0 \cdot \varepsilon_{ВП} \cdot \left(\left(\frac{T_{ВП}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_В}{100}\right)^4\right)$$

Где σ_0- универсальная постоянная Стефана – Больцмана:

σ_0=5,7, Вт/(м2К4); $\varepsilon_{ВП}$ - степень черноты верхней поверхности элемента коллектора, изготовленного из светопрозрачного материала (см.рис. 2); Твп – температура верхней поверхности коллектора, К; Тв - температура прилегающего слоя воздуха, К.

4. Заключение

В данной работе было рассмотрено граничные условия теплопереноса на верхней поверхности гелиоколлектора. Были найдены границы «поверхность гелиоколлектора – прилегающий слой воздуха» представляет собой поверхность, совпадающую с поверхностью гелиоколлектора; теплофизические характеристики наружных элементов гелиоколлектора и прилегающего слоя воздуха, а также метеорологические параметры вдоль поверхности гелиоколлектора не изменяются. Решено тепловой поток, обусловленный солнечной радиацией, а также тепловой поток, обусловленный лучистым теплообменом

Литература

1. Duffie, J. A., and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 1991.

2. Ahmet Samanci and Adnan Berber, “Experimental investigation of single-phase and twophase closed thermosyphon solar water heater systems”, Scientific Research and Essays, Vol. 6(4), pp. 688-693, 18 February, 2011.

3. M. A. Islam, M. A. R. Khan and M. A. R. Sarkar, “Performance of a Two-Phase Solar Collector in Water Heating”, Journal of Energy & Environment 4 (2005), Technical Note 117 – 123.

4. K. Chuawittayawuth & S. Kumar, “Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system”, Renewable Energy 26 (2002) 431–448.

5. H. Taherian, A. Rezania, S. Sadeghi & D.D. Ganji, “Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater”, Energy Conversion and Management 52 (2011) 301–307.

A. Zerrouki, A. Boume dien & K. Bouhadef, “The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution”, Renewable Energy 26 (2002) 549–559.

6. Samuel Luna Abreu, Sergio Colle, “An experimental study of two-phase closed thermosyphons for compact solar domestic hot-water system”, Solar Energy 76 (2004) 141–145.

7. Alireza Hobbi, Kamran Siddiqui, “Experimental study on the effect of heat transfer enhancement devices in flat-plate solar collectors”, International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 4650–4658.

8. N. V. Ogueke, E. E. Anyanwu, and O. V. Ekechukwu, “A review of solar water heating systems” Journal of Renewable and Sustainable Energy 1, 043106, 2009.

9. Dr. Akeel Abdullah Mohammed, “Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Turbulent Flow in a Tube Fitted With Conical Ring and Twisted Tape Inserts” Engg. & Tech. Journal, vol. 29, no. 2, 2011.

10. Nuntaphan, Atipoang, Choosak Chansena, and Tanongkiat Kiatsiriroat. "Performance analysis of solar water heater combined with heat pump usingrefrigerant mixture." *Applied Energy* 86, no. 5 (2009): 748-756.

РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АКТИВНЫХ ЗНАНИЙ

Лебедев Д.В., Ахмед-Заки Д.Ж., Жуман К.Б., Нурахов Е.С., Толенбеков Е.К., Городничев М.А., Перепелкин В.А.

e-mail: darhan_a@mail.ru, jubak@bk.ru, dan-lebedev@mail.ru, y.nurakhov@gmail.com, tolenbekov@gmail.com, maxim@ssd.sscc.ru, perepelkin@ssd.sscc.ru

Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Международный университет информационных технологий,
Университет международного бизнеса,
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Аннотация. *В работе приводится описание концепции и архитектуры системы, а также часть модулей и алгоритмов, которые были реализована в рамках разработки, в частности модуль оценки тональности текста комментариев к новостям, в том числе и на казахском языке, и модуль кластеризации пользователей по различным параметрам. Было проведено сравнение различных методов как для оценки тональности, так и кластеризации. Проведено тестирование на различных наборах данных.*

Введение. Разработка интеллектуальной системы анализа данных направлена на выработку научно обоснованных управленческих решений для развития агломераций, что требует решения математико-экономических моделей расселения населения, логистических процессов, постановку и решение оптимизационных задач, динамическую актуализацию моделей на основе автоматизации сбора, интеллектуального анализа больших данных, появляющихся при отслеживания движения грузов, мобильности населения, транспортной обстановки, экономических трендов.

Для адекватной постановки и решения поставленных задач требуется разработка формальных моделей агломерационных и логистических процессов с учетом конкретных потребностей развития Казахстана. В современных условиях для решения этой проблемы при наличии большого числа источников данных, большом объеме и разнообразии данных, сообразно с идеями «Четвертой промышленной революции», необходимо создание специализированной автоматизированной системы сбора, анализа данных, разработки моделей для принятия управленческих решений.

Концепция системы

Концепция системы основана на интеллектуальной модели активных знаний, т.е. представления знаний в формальном виде, что в свою очередь позволит осуществлять автоматизированный анализ моделей, вывод алгоритмов и генерацию программ для вычислительных систем различного тип и позволит решать задачи сбора, аналитической обработки данных и автоматизированной поддержки выработки рекомендаций по принятию управленческих решений на основе формального представления знаний о предметной области в активной форме в виде частичных аксиоматических теорий [1], онтологий, аналитики больших данных, машинного обучения и автоматизации накопления и использования экспертных знаний в различных областях в том числе и для i-commerce. Ядром системы является система активных знаний, используемая для различных направлений, указанных на рисунке 1.

Рис. 1 Интеллектуальная модель активных знаний

В верхней части рисунка представлены модели, которые могут быть формализованы с помощью системы. В нижней части применение системы для различных областей.

Подход к решению задачи разработки интеллектуальной информационной системы рассматривается на примере конкретной задачи, связанной с организацией процессов продажи и покупки популярного класса товаров в интернет-магазинах. В исследовании выбран класс товаров: сотовые телефоны. Данный пример является подходящим для целей исследования по следующим причинам. Во-первых, сотовые телефоны являются широко распространенным товаром, представленным на рынке в широком ассортименте. Круг покупателей также очень широк и включает практически все слои населения. Объем задействованных финансов населения является существенным. Это определяет практическую значимость примера. Во-вторых, выбор данной предметной области (купля-продажа сотовых телефонах в интернет-магазинах) является репрезентативным, он позволяет детально рассмотреть большинство основных компонент взаимодействия клиентов с продавцами, существенных с точки зрения проекта: экономический фактор, психологический фактор, сбор и обработка данных, высокая вариативность процесса по параметрам покупателей и товаров, компьютерная обработка информации на естественном языке (русский, казахский). Таким образом, пример является подходящим для разностороннего исследования предлагаемых подходов, алгоритмов и программных решений.

Социально-экономическая модель направлена на выявление групп граждан, обладающих разными потребностями и возможностями (уровень дохода, потребительская корзина, социальный статус и т.п.), а также на выявление возможностей предложения товара (ассортимент, ценовые категории, доступные объемы товара и т.п.). Такой анализ позволяет выявить транспортные потоки, цепи покупок-продаж, логистические процессы, связанные с данными категориями граждан и товаров, выявить потенциал оптимизации этих процессов.

Социально-психологическая модель направлена на выявление связи личностных качеств граждан (психологический портрет), влияющих на их спрос, предпочтения в выборе товаров, мотивирующие факторы, особенности в восприятии рекламы и т.п. факторы, существенные с точки зрения участия в процессе купли-продажи товаров. Кроме того, психологический анализ направлен на выявление связи психологического портрета граждан с их “цифровым следом” — информацией, оставленной пользователями в сети Интернет, в первую очередь, в социальных сетях и комментариях товаров интернет-магазинов.

Для качественного анализа необходимо уметь обрабатывать тексты как на русском так и на казахском языке, что требует разработки алгоритмов по работе с контентом на казахском языке.

Сбор и анализ данных преследует несколько целей. Во-первых, это определение психологического портрета пользователя на основе его цифрового следа (задача классификации). Такая классификация может выполняться на основе методов машинного обучения или путём сопоставления с эталонной выборкой, например, полученной в результате психологического опроса.

Во-вторых, сбор и анализ данных направлен на выявление реакции (отзывов) клиентов о различных товарах (сотовых телефонов). При этом определяется психологический портрет клиента, оставившего отзыв, а также определяется тип реакции (положительная, отрицательная, нейтральная). Определение типа реакции осуществляется на основе оценок балльной системы отзыва и на основе определения т.н. тональности текста отзыва или комментария. Косвенным признаком положительного отношения к товару является факт покупки и длительного использования товара либо товаров, которые обычно клиенты со сходным психологическим портретом приобретают одновременно с рассматриваемым товаром. Анализ этих данных, в частности, позволяет установить связь между предпочтениями клиентов и их психологическим портретом.

Для заданного клиента по его психологическому портрету осуществляется поиск подходящих наименований товара. Для этого проводится расчет на высокопроизводительном вычислительном оборудовании, в котором для каждого наименования товара проводится сопоставление психологического портрета клиента с психологическими портретами групп клиентов, оставивших свои отзывы об этом товаре. Если психологический портрет клиента близок к тем, что оставляли положительный отзыв о товаре, то делается вывод о том, что и данному клиенту товар будет нравится. То же самое касается и отрицательных и нейтральных групп отзывов. Таким образом все товары ранжируются по степени индивидуальной предпочтительности для клиента, после чего наилучшие варианты предлагаются клиенту.

Архитектура системы

Была разработана архитектура программного комплекса, который запланирован к разработке в виде облачной системы. Под этим подразумевается наличие типичных свойств облачных систем [2], среди которых для целей проекта наиболее существенно то, что сервисы системы доступны по сети, в частности, доступен программный интерфейс для сервисов системы и интерфейсы пользователей доступны в виде веб-приложения, система позволяет пользователям решать задачи, требующие различного объема ресурсов, соответственно, архитектурные решения не должны ограничивать возможность настраивать объем ресурсов соразмерно потребностям задач, производится учет всех действий пользователей и потребленных ресурсов. Основные требованиями к программному комплексу:

- обеспечение сбора и хранения данных;
- обеспечение возможности производить численные расчеты по заданным моделям на основе данных, получаемых посредством модуля сбора и хранения данных;
- обеспечение возможности конструировать и модифицировать модели обработки данных на основе расширяемого комплекта программ/подпрограмм (программных модулей), реализующих различные этапы обработки;
- обеспечение возможности добавлять и использовать программные модули, реализующие различные этапы обработки данных.

Концепция организации информационной системы, ее взаимодействия с внешними агентами показана на рисунке 2.

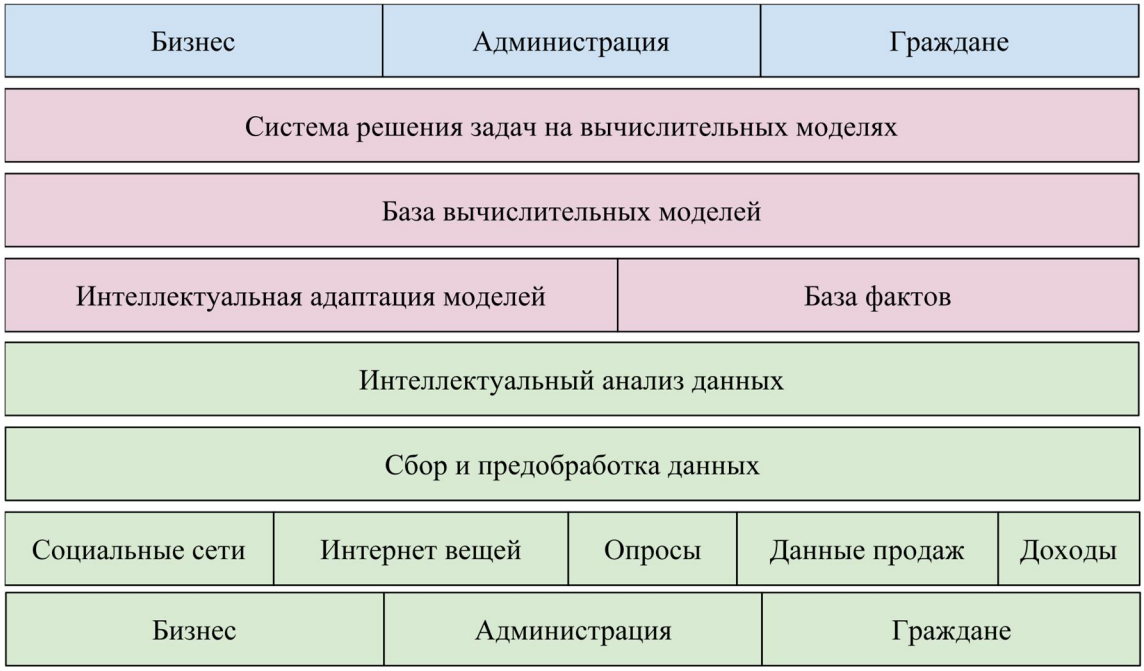


Рис. 2 Организация информационной системы

Система сбора данных использует различные источники для получения сведений данных, потенциально содержащих значимую для решения экономических задач информацию. Предполагается, что пользователи системы (бизнес, администрация, рядовые граждане), могут обращаются с различными запросами к системе. Например, “какой товар будет пользоваться спросом?”, “как оптимизировать транспортные потоки?”, “какой выбрать телефон и поставщика по заданным характеристикам аппарата”. Такие запросы будут приводить к генерации формальных постановок задач на вычислительных моделях, инициированию вычислений (при необходимости, на высокопроизводительных вычислительных системах) и возвращать результат, который позволяет принимать пользователям обоснованные решения. Для анализа адекватности автоматически выявленных фактов, развития и анализа автоматически построенных моделей в общем случае должны привлекаться эксперты в предметной области, которые, работая совместно со специалистами-математиками и специалистами в информационных технологиях совершенствуют модели и базы фактов, для чего пользуются разрабатываемыми в ходе проекта инструментами для управления моделями.

Сервисы системы

Для обеспечения работы были реализованы различные сервисы:

Сервис сбора и обработки данных.

В задачи сервиса сбора входит загрузка и парсинг новостей и комментариев к новостям.

Для сбора и обработки данных с различных источников были использован подход с определением нужного элемента из содержимого интернет ресурса с использованием заранее подготовленных правил.

В рамках системы были разработаны следующие алгоритмы:

● Алгоритм скачивания (краулер) – используется для скачивания (краулинга) веб-страниц и файлов

● Алгоритм извлечения – извлекает из неструктурированных документов нужные объекты в соответствии с шаблонами

● Алгоритм планирования – управляет модулями скачивания и извлечения: частота и алгоритм скачивания документов, настройка шаблонов для извлечения.

Сервис сбора данных по предметной области предназначен для сбора данных по определенной предметной области. Поскольку нет универсального способа по организации сбора данных для различных предметных областей требуется разработка собственных модулей сбора. Общий подход к разработке модулей заключается в том, что в начале необходимо определить перечень источников данных, структуру документов, модель объекта предметной области и соответствие элементов структуры документов характеристикам объекта. Сервис был реализован на примере сотовых телефонов, где было выбрано несколько источников для агрегации и дополнения данных об некоторых моделях сотовых телефонов, включая их характеристики и отзывы пользователей. Разработанный алгоритм сборки и хранения данных позволяет извлекать документы из заранее определенных источников по заданной частоте, которая корректируется в зависимости от обновляемости документа.

Сервис оценки тональности.

Оценка тональности позволяет оценивать отношение пользователя к определенному товару, опираясь на оставленный цифровой след в социальных сетях и информационных порталах. Данный алгоритм особенно важен при анализе и построении модели для кластеризации и классификации на основе данных, полученных из информационных и тематических порталов, где пользователь оставляет комментарии или отзывы, но не ставит явную оценку. Определяя эмоциональную окраску комментария, можно сопоставить цифровой след из других источников. Также оценка тональности применяется к комментариям к новостям, что позволяет оценить восприятие опубликованной на новостных порталах новости.

Есть множество методов и алгоритмов для анализа тональности, и каждый из них показывает хорошие результаты в зависимости от поставленной задачи и предметной области данных. Самые распространенные из них относится или к классификации с использованием словарей с заранее отмеченными коэффициентами тональности, или к классификации с использованием заранее размеченных кусков текста, которые используются в качестве тренировочного набора.

В качестве алгоритмов классификации (оценки тональности) были выбраны наиболее распространенные: наивный байесовский метод [3], метод опорных векторов [4] и ансамбль из деревьев решении [5], основанные на машинном обучении и соответственно требующий наличия размеченных данных, которые

делятся на тренировочный и тестовый набор. В качестве размеченных данных были взяты двести тысяч размеченных постов на русском языке из Twitter и сто пятьдесят тысяч комментариев на казахском языке из информационных порталов. Перед тем как приступить непосредственно к самой классификации, текст проходит предобработку. Если не производить предобработку текста, то два почти одинаковых текста могут быть классифицированы по-разному. Вследствие чего результаты классификации могут оказаться неудовлетворительными.

Процесс предобработки проходил в три этапа: удаление стоп слов, токенизация и стемминг. На первом этапе, удаляются слова не несущие смысловую нагрузку, так называемые стоп-слова. Например, из текста можно удалить слова "are, "aren't", "as".

На следующем этапе производится токенизация текста, при котором текст делится на отдельные токены — последовательности символов, являющиеся обозначениями для некоторых понятий. Так как пробел или знаки препинания не всегда означают конец токена (например, "Mr. Bond"). В процессе токенизации символы, которые могут обозначать эмоции, считались как отдельные слова.

Полученный набор токенов проходил через процесс стемминга. При стемминге находится основа слова. Это нужно для того, чтобы различные словоформы одного слова были приведены к единому виду.

Был создан инструмент для лемматизации казахских текстов на основе генерации словоформ и дорабатываемый экспертной оценкой полученных слов. При лемматизации находится начальная форма слова. Все казахские тексты проходили либо через стемминг, либо через лемматизацию

При анализе содержания комментариев и постов в социальных сетях, новостных и других информационных порталах, было выявлено множество мультиязычного контента, в частности казахский вперемешку с русским. В связи с этим, для определения тональности мультиязычного текста было решено приводить все тексты в русский язык. Для этого был разработан сервис по лемматизации и переводу казахских слов в русский язык.

Сервис классификации.

По завершению идентификации профиля социальной сети программным модулем формируется пакет данных в виде иерархической структуры, содержащей информацию о пользователе. На основе пакета данных производится оцифровка: получение численного вектора - цифрового отпечатка пользователя, оставленного в социальной сети. Цифровой отпечаток (ЦО) пользователя строится на ключевых словах, извлекаемых из новостей, комментариев, публикуемых и читаемых пользователем.

Сравнивая ЦО пользователя с цифровыми отпечатками групп пользователей с известными общими требуемыми характеристиками, модуль дополняет характеристики пользователя. Массив ЦО пользователей, определяющих ту или иную характеристику, назовем матрицей сравнения характеристики.

Корзина предложения строится на сравнении ЦО конечного пользователя с ЦО пользователей, имевших опыт взаимодействия, потребления предлагаемых продуктов. Обучающая выборка для модуля формирования предложения была получена на основе популярного форума о коммуникаторах. Оттуда же были

получены ссылки на профили социальных сетей тех пользователей, которые оставили отзывы.

При составлении предложения сотовых телефонов для каждого продукта строится две матрицы сравнения на основе выборки пользователей положительно и отрицательно отзывающихся о данном продукте. Далее с помощью извлеченных лемм из содержания входящего сообщения конечного пользователя определяются критерии выборки предлагаемых продуктов на основе характеристик, моделей и типов продуктов (например, если сообщение пользователя указывает на то что его интересует производитель Samsung, то выбираются матрицы сравнения только данного производителя). Каждая матрица сравнения, удовлетворяющая критериям выборки, представляет отдельный класс. Модуль подает на классификатор ЦО отпечаток пользователя и в результате получает класс. В случае если определенный класс построен на положительных отзывах, относящийся к классу продукт добавляется в корзину предложений и удаляется из классификатора. В случае же если определенный класс построен на отрицательных отзывах, пара классов, относящихся к продукту, удаляется. Операция повторяется пока классы не закончатся. В результате сформируется корзина предложений, ранжированная по релевантности.

Выявление психологических характеристик пользователя выполняется аналогичным подходом. Для каждого набора психологических характеристик сгенерированы матрицы сравнения на основе выборки пользователей с известными психологическими характеристиками.

Обучающая выборка пользователей для модуля определения психологических характеристик выделена из пользователей прошедший психологический тест. Тест был представлен в виде электронной анкеты. Для определения ЦО пользователей, прошедших тест мы предлагали авторизацию через социальные сети.

Классификатор использует метод опорных векторов. точнее обобщенный метод опорных векторов, решающий задачу классификации для множества классов (мультиклассовый).

Стоит отметить что с возрастанием количества анализируемых пользователей растет и длина векторов, соответственно растет и потребность в вычислительных ресурсах как для построения самих векторов, так и при дальнейшей их обработке. Для уменьшения размера векторов без потери смысловой составляющей многомерных массивов используется алгоритм TSNE

Результаты

Сбор данных осуществляется с 5 новостных сайтов и порталов, из них 2 сайта новостей на казахском языке. Краулер также собирает комментарии к новостям со всех сайтов. В результате работы системы было выгружено около 500000 новостей и 10 миллионов комментариев. Из них около 70000 новостей и более 200000 комментариев на казахском языке.

В качестве тренировочного и тестового набора для анализа тональности использовались более 200000 заранее размеченных твитов на русском языке (комментариев) и более 150000 комментариев на казахском языке из информационных порталов. Этот данные были разделены на два набора: тренировочный и тестовый. После того как классификатор был обучен на 75%

данных и протестирован на 25% данных, был достигнута точность в 74% для русских текстов и 63% для казахского текста (Рисунок 3,4), что позволяет использовать классификатор для оценки комментариев.

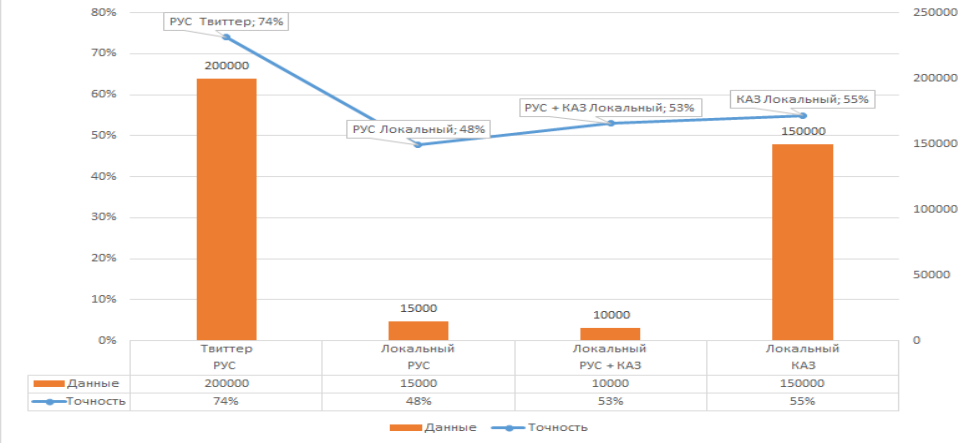


Рис. 3 Точность анализа тональности в зависимости от источника, языка и размера данных с использованием Наивно-Байесоского классификатора

	Naïve Bayes	SVM			Random Forest
		kernel=linear	kernel=rbf	linearSVC	
Tweetter	74%	71%	25%	71%	71%
Каз + Стем	55%	63%	44%	61%	62%
Каз + API	55%	62%	44%	60%	62%

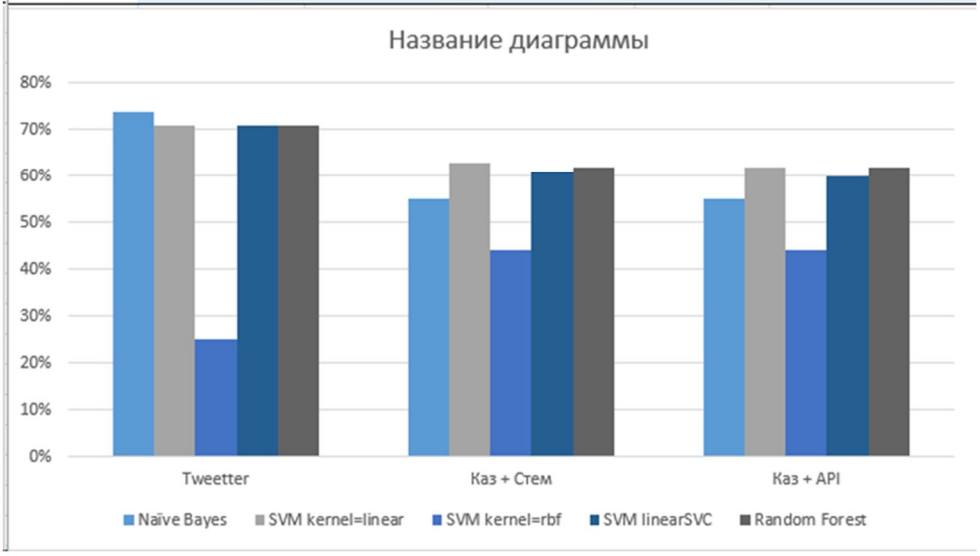


Рис. 4 Точность разных алгоритмов анализа тональности в зависимости от источника и языка

Чтобы проверить правильность работы алгоритма для мультиязычного или казахского контента была использована база отзывов о телефонах с уже имеющимися оценками от автора отзыва и была достигнута точность в 53%, что позволяет использовать классификатор для получения общей характеристики, но желательно доработать алгоритм.

Обучающая выборка для классификации пользователей по психотипам состоит из 400 профилей с идентифицированными психологическими характеристиками. Подмодуль на данный момент имеет только два класса и способен определить относится ли пользователь к доброжелательным интровертам.

Ограниченность функционала связана с малой выборкой. Ведутся работы по увеличению обучающей выборки для увеличения количества классов психологических характеристик.

Модель классификации пользователей по рекомендуемым продуктам содержит 1697 классов, и обучена на данных 900 профилей. Модель определяет какой из 1697 продуктов наиболее подходящий пользователю на основе его ЦО.

Также была проведена тестовая прогонка случайных 4005 пользователей через классификатор. В результате прогонки были определены 16 наиболее популярных моделей, которые приведены в таблице.

Таблица 1. Результаты работы алгоритма кластеризации

#	Количество пользователей	Предлагаемая модель
1	21	G3
2	1	ZP900S Leader
3	3175	YotaPhone
4	35	Moto Z
5	4	i3000
6	2	Power Rage
7	4	iPhone 4
8	59	PadFone S
9	42	Redmi Note 3 Pro Standard
10	129	Mi Mix 4/128
11	176	Galaxy Note GT-N7000
12	21	Xperia T
13	2	G2
14	5	Vibe Z2 Pro
15	9	One Dual Sim
16	320	Incredible S

Заключение

В работе была преложена концепция облачной интеллектуальной системы анализа данных на основе системы активных знаний. Была представлена архитектура и сервисы системы. Для различных сервисов были реализованы несколько алгоритмов, и проведен их сравнительный анализ. Так для алгоритма оценки тональности на примере комментариев к новостям, в том числе и на казахском языке наилучший результат показал метод опорных векторов. Но при

этом этот же метод не очень хорошо обработал данные на примере сотовых телефонов. В дальнейшем планируется доработка этих алгоритмов для повышения точности, включение в систему дополнительных алгоритмов для этих сервисов, а также новые сервисы. В частности, планируется сервис по вводу формальных моделей, анкетирования и других, которые могут понадобится для полноценной работы системы.

Литература

1. Malyshkin V. (2015) Active Knowledge, LuNA and Literacy for Oncoming Centuries. In: Bodei C., Ferrari G., Priami C. (eds) Programming Languages with Applications to Biology and Security. Lecture Notes in Computer Science, vol 9465. Springer, Cham. Pp 292-303

2. Mell, P. M. The NIST Definition of Cloud Computing [Электронный ресурс] / Mell, P. M., and T. Grance // Special Publication 800–145, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. – 2011. – DOI: 10.6028/nist.sp.800-145. – Режим доступа: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf. – Дата обращения: 20.10.2018.

3. Mozina M, Demsar J, Kattan M, & Zupan B. (2004). «Nomograms for Visualization of Naive Bayesian Classifier». In Proc. of PKDD-2004, pages 337—348.

4. *Nello Cristianini, John Shawe-Taylor.* An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. — Cambridge University Press, 2000. — ISBN 978-1-139-64363-4

5. *Hastie, T., Tibshirani R., Friedman J.* Chapter 15. Random Forests // The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. — 2nd ed. — Springer-Verlag, 2009. — 746 p. — ISBN 978-0-387-84857-0

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ С ТЕХНОЛОГИЯМИ BIG DATA

Лебедев В.Ю., Ахметова М.А.
e-mail: taliich000@gmail.com
Университет «Туран»

Аннотация. *Трудноформализуемые задачи часто решаются методами интеллектуального анализа данных и технологий искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. В статье приводятся исследования о том, что поиск информации в большой базе данных Big data дает возможность извлечь знания с помощью инструментов Data Mining. В качестве объекта исследований был выбрана задача нахождения совпадений внутри семи предков и семи уровней потомоков для трех жузов казахов. Мы предлагаем решить задачу как оптимизационную с применением генетического алгоритма искусственных нейронных сетей.*

Ключевые слова. *Big data, Data Mining, жузы казахов, традиоционная система семь предков–семь уровней потомоков, оптимизационные задачи, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы*

Неполнота и неточность и большие объемы исходных данных задачи, наличие недетерминизма в процессе поиска решения, высокая вычислительная сложность получения результата являются характерными особенностями трудно формализуемых, интеллектуальных задач. В настоящее время для решения таких задач важными исследованиями являются изучение и использование на практике подходов и методов интеллектуального анализа данных и извлечения знаний с помощью технологий искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Большие объемы данных характеризуются термином «*big data*». Это обозначение структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия, эффективно обрабатываемых горизонтально масштабируемыми (*scale-out*) программными инструментами, появившимися в конце 2000-х годов и альтернативных традиционным системам управления базой данных и решениям класса *Business Intelligence*. Это также совокупность технологий, которые призваны совершать три операции: 1) обрабатывать большие по сравнению со «стандартными» сценариями объемы данных; 2) уметь работать с быстро поступающими данными в очень больших объемах. То есть данных не просто много, а их постоянно становится все больше и больше; 3) они должны уметь работать со структурированными и плохо структурированными данными параллельно в разных аспектах. *Big data* предполагают, что на вход алгоритмы получают поток не всегда структурированной информации и что из него можно извлечь больше чем одну идею. К методам анализа big data относятся: обучение ассоциативным правилам, классификация, кластерный анализ, регрессионный анализ, краудсорсинг - категоризация и обогащение данных, смешение и интеграция данных и обработка естественного языка, машинное обучение, обучение с учителем и без учителя, методы искусственных нейронных сетей, сетевой анализ, оптимизация, генетические алгоритмы, распознавание образов, прогнозная аналитика, имитационное моделирование, пространственный анализ визуализация аналитических данных, интеллектуальный анализ данных**.** Интеллектуальный анализ данных (*Data Mining*) - это компьютерная техника извлечения знаний, которая использует искусственный интеллект для распознавания образов и выделения значимых закономерностей из данных, находящихся в хранилищах или входных, или выходных потоках. Такая методология решает задачи навигации в больших текстовых массивах, поиск взаимосвязей между ключевыми понятиями текстов, структуризация хранилищ документов, поиск информации, выраженный на естественном языке, распределение по рубрикам.

У термина «*Data Mining*» есть несколько вариантов перевода: извлечение данных, извлечение знаний, интеллектуальный анализ данных. Если говорить о способах реализации, то первый относиться к прикладной области, второй - к математике и науке, и, как правило, они мало пересекаются. Извлечение данных - это процесс нахождения, сбора информации, а также сохранения или конвертация их в разных форматах. Такие программы позволяют систематизировать данные,

могут собирать адреса компаний в вашей отрасли, ссылки из нужных форумов, и так далее. Как правило, данные берутся из открытых источников, не нарушая чьих-то интеллектуальных прав. Суть «извлечения знаний»: у нас есть огромные массивы *данных*, нам нужно получить *знания*. Допустим, имеется очень много данных о котировках валют, например, порядка нескольких гигабайт текстовой информации в день. Так вот, текстовые файлы и есть данные, а вот утверждение «падение акции А приводит к падению акции В» уже является знанием, полученным на основании этих данных. Как инструмент Data Mining включен в Microsoft SQL Server 2008.

В качестве объекта исследований рассмотрим задачу регистрация гражданских актов по традиции системы «семь предков- семь уровней потомков», который существовал исторический у казахов. Бытовала устная передача правил соблюдения традиций этой системы на основе принципа реализации запрета брака между родственниками внутри семи предков и семи уровней потомоков, которая соблюдалась тысячелетиями, благодаря совместному проживанию всех членов системы в казахских юртах при полном кочевом образе жизни на протяжении всех семи поколений. В современном Казахстане нет обьективной возможности совместного проживания в одном населенном объекте всех членов системы на протяжении всех семи поколений. Важность соблюдения этой традиций очевидна.

Цель работы – реализация и исследование алгоритма извлечения знаний в задаче нахождения совпадений внутри семи предков и семи уровней потомоков.

Для постановки задачи рассмотрим пример. Допустим у на имеется строка «*Айнұр Қанатқызы Оспан, отец ру Жалайыр, мать Жазира Ақанқызы Дауылбаева, ру Адай».* Первый элемент – имя, второй – имя отца, третий – имя деда, четвертый - название ру. И еще одна строка про парня «*Аскар Алданұлы Жақып, отец ру Жалайыр, мать Гульсим Есенқызы Карибаева, ру Найман».* С помощью этого предложения необходимо определить соответствует ли девушка по традиции системы «семь предков- семь уровней потомков» для этого жениха. Для решения этого примера у нас должна быть большая база данных. И эта база должна быть базой «*big data*».

Проведенные исследования показали, что для структур *Big data* ее информация должна быть измерена в экзобайтах и петабайтах. Напомним, что эти весы измеряются следующем образом: 1 экзабайт (Эб) =1024 петабайт, 1 петабайт (Пб) =1024 терабайт, 1 терабайт (Tb) =1024 гигабайт. База данных системы «семь предков-семь уровней потомков» является структурой «*big data*». Ее можно представить в грубом виде, следующем образом: если один символ измерим в 1-2 байтах, например, букву «А», то строка «*Айнұр Қанатқызы Оспан, отец ру Жалайыр, мать Жазира Ақанқызы Дауылбаева, ру Адай»* составить около 160 байтов. Если предположить, что у девушки по семи предкам имеется несколько ветви по отцовской, по материнской линий и по ветке парня столько же, и еще у казахов три жуза, то можно предположить, что база данных явна в виде «*big data*».

Таким образом приведенный пример показывает, что мы имеем дело с базой данных *Big data*. Задача формулируется теперь следующим образом: Дана строка информации про человека. Необходимо найти ее в базе данных построенной по традиции системы «семь предков-семь уровней потомков». Для выполнения запроса

формулировку цели перевести на язык математики. По постановке задачи она подходит как поиск решения задачи дискретной оптимизаций.

Как известно, оптимизационные задачи заключаются в нахождении минимума или максимума заданной функции. Такую функцию называют целевой. Целевая функция - сложная функция, зависящая от некоторых входных параметров. В оптимизационной задаче требуется найти значения входных параметров, при которых целевая функция достигает минимального или максимального значения. Существует целый класс оптимизационных методов. Условно все оптимизационные методы можно разделить на методы, использующие понятие производной, например - градиентные методы и стохастические методы, например, методы группы Монте-Карло. С их помощью можно найти экстремальное значение целевой функции, но не всегда можно быть уверенным, что получено значение глобального экстремума. Нахождение локального экстремума вместо глобального называется преждевременной сходимостью. Помимо проблемы преждевременной сходимости существует другая проблема - время процесса вычислений. Зачастую более точные оптимизационные методы работают очень долго. Для решения поставленных проблем и проводится поиск новых оптимизационных алгоритмов. Предложенные в 1975 году Джоном Холландом генетические алгоритмы основаны на прин ципах естественного отбора Ч. Дарвина. Он относятся к стохастическим методам. Эти алгоритмы успешно применяются в различных областях. Созданы различные модификации алгоритма и разработан ряд тестовых функций.

В области ИИ под *генетическим алгоритмом* подразумевается эвристика поиска решений, основанная на естественном отборе. Как правило, применяется для задач, где пространство поиска насколько огромно, что точное решение найти невозможно и эвристическое решение удовлетворяет требованиям. Сама задача имеет некоторую функцию качества решения, которую необходимо минимизировать или максимизировать.

Для рассмотрения возьмём любое предложение, например, вышеприведенную строку: «*Айнұр Қанатқызы Оспан, отец ру Жалайыр, мать Жазира Ақанқызы Дауылбаева, ру Адай»* и случайную строку такой же длины: «*фббкк крррртоожжж ссррт, пауу вв фжувччч, цваа укеар царпаиап фаапрорпаву яя шлдо»* и начнем вносить в неё случайные изменения. Через сколько поколений эта случайная строка превратится в нашу строку, если выживать будут лишь потомки более похожие на нашу?

В самом простом виде генетический алгоритм имеет следующую структуру:

1. Начинаем с некоторым решением, в нашем случае, это случайная строка;
2. Вносим мутации, например, меняем случайно выбранную букву в строке на случайно выбранную букву и получаем новый набор строк или k мутаций на строку;
3. Из них отбираем только те, которые ближе к нашей, то есть по количеству совпадающих символов, например, 10 таких строк, если нашей среди них нет, то запускаем процесс заново.

По алгоритму популяция всегда стремится к ближайшему максимуму, так как мы отбираем текущие точки поиска, как имеющие максимальное значение, а все остальные точки «умрут», не выдержат конкуренции с ближайшим максимумом. Так как размер популяции значительный, а значит вероятность сделать хотя бы один

шаг в направлении максимума не пренебрежимо мала, то через некоторое количество шагов популяция сместится в сторону локального максимума. А потомки точки, смещенной ближе к максимуму, имеют большую «выживаемость». Значит через достаточное количество шагов, потомки этой точки начнут доминировать в популяции, и вся она сместится к максимуму.

Формализуется задача со случайной строкой. Входные данные: строка *S* Выходные данные: натуральное число *N*, равное количеству поколений необходимых для преобразования случайной строки длины *len(S)* в строку *S.* Что в нашем случае мутация? Под мутацией строки *S* мы понимаем замену одного случайно выбранного символа из строки *S* на другой произвольный символ алфавита. В качестве изначальной популяций (*initial population*) выбираем случайную строку равную по длине входной строке *S.* Пусть мы зафиксировали количество мутаций одной строки на константу *k*, тогда потомки (*offsprings*) - это *k* мутаций каждой строки текущего поколения. Пусть мы зафиксировали размер популяции на константу *h*, тогда выжившие *(survivors)*- это *h* строк максимально похожих на входную строку *S.*

В более общем виде алгоритм описывается следующим образом. Каждое поколение отличается не более, чем на 1 символ друг от друга. Всего необходимо пройти несколько поколений, чтобы добраться от нашей случайной строки до нашей заданной с помощью мутаций и отбора. В качестве базы мы выбираем большую базу данных построенной по традиции системы «семь предков- семь уровней потомков» для трех жузов казахов. Мы будем измерять два параметра - распределение количества поколений по предложениям и зависимость количества поколений от длины строки или есть ли корреляция? Общую схему поиска архитектуры нейронных сетей с помощью генетического алгоритма можно представить следующим образом. Информация об архитектуре нейронной сети специальным образом кодируется в генетический код. Затем генерируются поколения, к которым применяются стандартные генетические операции. Оценка каждого индивидуума производится следующим образом: нейронная сеть восстанавливается из генетической строки и производится ее тестирование. Значение такой функции будет зависеть от значения ошибки сети на проверочной выборке. Работа генетического алгоритма завершается по достижению желаемого значения ошибки. С помощью, полученной корреляций между длиной строки и количеством поколений строится кривая, которая показывает продвижение к целевой строке в каждом поколений.

Если эксперимент с большой базой данных и нашей выбранной строкой покажет, что в условиях данной задачи для любой входной строки *S*, количество поколений линейно зависит от длины строки то можно предположить, что наш клиент находится в одном тексте по отцовской или по материнской линии в базе традиции системы «семь предков- семь уровней потомков» для трех жузов казахов. По прогнозу нейронной сети такой брак нежелателен. И на той основе мы будем рекомендовать клиенту дальнейшей более тщательной проверки для вступления в семейный союз.

Список литературы

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер.с польского И.Д. Рудинского.- М.: Финансы и статистика, 2002. – 344с.:ил.
2. Wikipedia.org/wiki/Большие данные.
3. Панченко, Т. В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. - Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 с.
4. Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике». Нижний Новгород, 2007, 85 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-ое издание: пер.с англ. – М.:издат.дом «Вильмс», 2006. – 1104с.:ил. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн. 3: Учеб.пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. - М.:ИПРЖР, 2000, - 528 с.:ил. (Нейрокомпьютеры и их применение).
6. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (мет. и техн.) /Под общ.ред. В.Б.Новосельцева -Томск:Изд-во НТЛ,2006.- 128с.

СОЗДАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ BLUETOOTH

Мендакулов Ж.К.
e-mail: m_m_zhas@mail.ru
Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К.И. Сатпаева – Satbayev University
Алматинский Университет Энергетики и Связи

Аннотация. *В статье приведены результаты работы по созданию возможности определения координат внутри помещений с использованием низкоэнергетических сигналов Bluetooth. Создано программное приложение с графическим интерфейсом пользователя. Проведено моделирование по определению влияния шумов при измерении углов на точность определения координат объекта. Показаны результаты эксперимента по измерению ослабления уровня сигнала при различных конфигурациях расположения объектов эксперимента. Целью является повышение точности позиционирования объекта корректированием теоретических результатов экспериментальными.*

1. Разработка программного приложения для определения координат в подземных сооружениях

Программное приложение для определения координат объекта в подземных сооружениях на основе алгоритма триангуляции. На графическом интерфейсе пользователя располагаются следующие объекты: карта закрытого помещения квадратной формы с размерами по горизонтали и по диагонали. Размеры помещения: 500x500; поля для введения координат маяков; поля для введения данных с датчиков углов между тремя маяками и направлением движения искомого объекта, принятым по умолчанию от юга на север; поле для вывода координат искомого объекта. Внешний вид графического интерфейса пользователя приведен на рисунке 1.

Рис. 1 Графический интерфейс пользователя приложения для определения координат объекта в подземных сооружениях после введения координат маяков

2. Моделирование влияние ошибок в измерении углов на точность определения координат

Вычисление координат искомого объекта производится с помощью алгоритма триангуляции. Для этого необходимо знать координаты трех маяков и величины углов между направлением движения искомого объекта и тремя маяками.

Влияние ошибок в измерении углов на точность определения координат объекта при среднеквадратическом отклонениях в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием.

Добавим Гауссовский шум к значениям углов со средним математическим ожиданием, равным нулю и со среднеквадратическим отклонением в 0.1, 1, 2 градуса.

Проведем эксперимент 1000 раз.

На рисунке 2 показаны точное значение и накладываемые значения с ошибками разных цветов для трех различных среднеквадратических отклонений в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием.

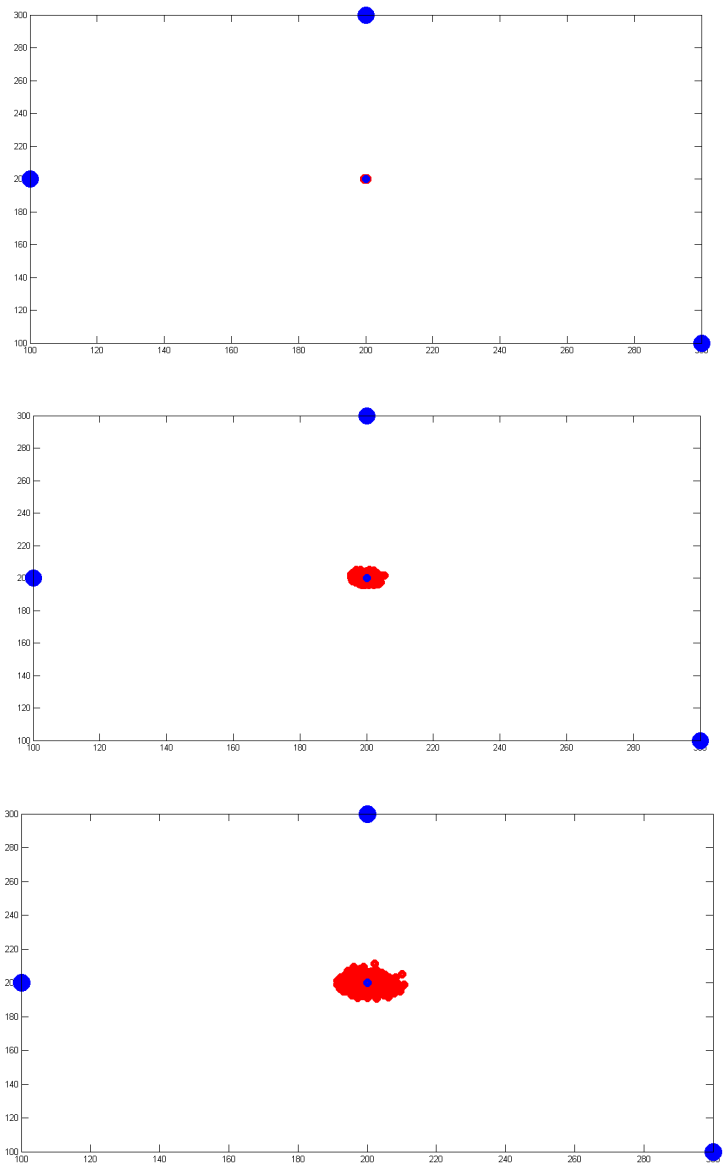


Рис. 2 Точное значение координат и значения, накладываемые с ошибками разных цветов для трех различных среднеквадратических отклонений в 0.1, 1, 2 градуса и с нулевым математическим ожиданием

3. Экспериментальное измерении ослабления уровня сигнала при различных конфигурациях

Теоретические исследования определяют координаты объекта, но в практических приложениях координаты объекта определяются с ошибками. Это происходит из-за наличия шумов в окружающем пространстве. Необходимо провести экспериментальные исследования, определяющие практические значения показаний уровней мощности от маяков. Применяя эти данные, можно скорректировать точность координат искомого объекта. Эксперимент проводится в четырех конфигурациях: измерение уровней мощности при прямой видимости (line-

of-sight (LOS)); измерение уровней мощности при не прямой видимости (non-line-of-sight (LOS)). Объект преграды - метал; измерение уровней мощности при не прямой видимости (non-line-of-sight (LOS)). Объект преграды - стена; измерение уровней мощности при не прямой видимости (non-line-of-sight (LOS)). Объект преграды – межэтажное пространство (4-3, 4-2, 4-1).

1) Измерение уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при прямой видимости (line-of-sight (LOS)) в закрытом помещении.

Проведение измерений при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц. График представлен на рисунке 3.

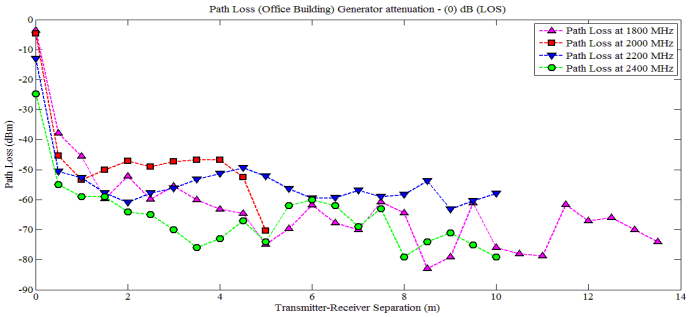


Рис. 3 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение)

2) Измерение уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости (non-line-of-sight (NLOS)) в закрытом помещении. Материал преграды – железо. Проведение измерений при частотах 1800 МГц, 2000 МГЦ, 2200 МГц и 2400 МГц. График представлен на рисунке 4.

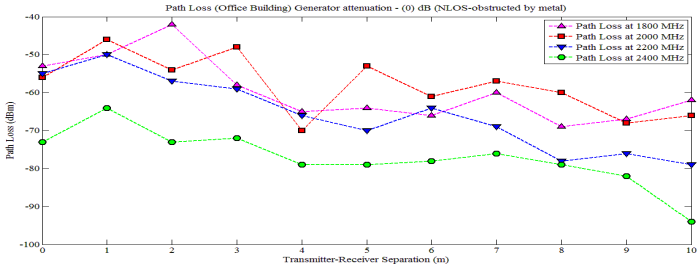


Рис. 4 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение). Материал преграды – железо

3) Измерение уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости (non-line-of-sight (NLOS)) в закрытом помещении. Материал преграды – стена. Проведение измерений при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц. График представлен на рисунке 5.

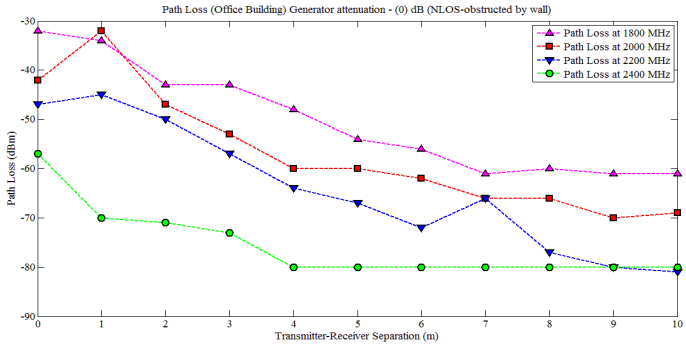


Рис. 5 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение). Материал преграды – стена

4) Измерение уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости (non-line-of-sight (NLOS)) в закрытом помещении. Сигнал распространяется между этажами.

Проведение измерений при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц, 2400 МГц. Измерение уровня сигнала между 4 и 3 этажами. График представлен на рисунке 6.

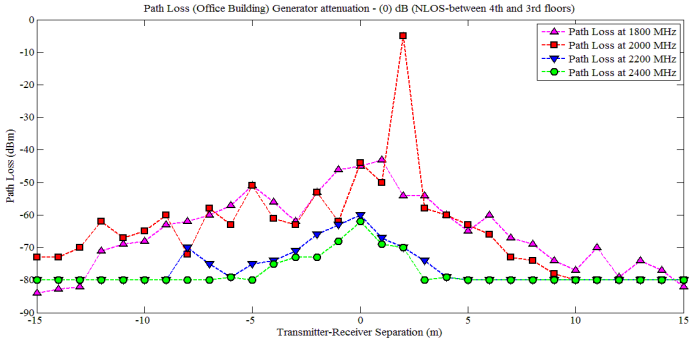


Рис. 6 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение). Показания уровня мощности сигнала между 4 и 3 этажами

а) Проведение измерения при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц. Измерение уровня сигнала между 4 и 2 этажами. График представлен на рисунке 7.

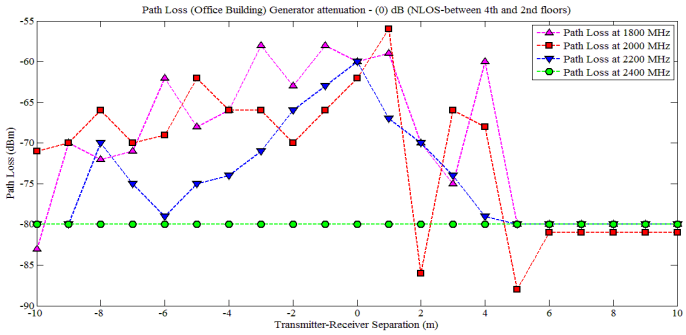


Рис. 7 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение). Показания уровня мощности сигнала между 4 и 2 этажами

b) Проведение измерения при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц. Измерение уровня сигнала между 4 и 1 этажами. График представлен на рисунке 8.

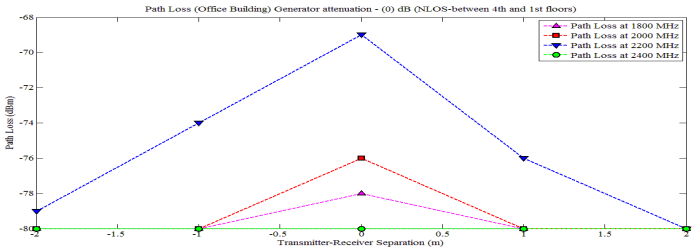


Рис. 8 Зависимость уровня мощности сигнала в зависимости от расстояния при не прямой видимости при частотах 1800 МГц, 2000 МГц, 2200 МГц и 2400 МГц (офисное помещение). Показания уровня мощности сигнала между 4 и 1 этажами

Литература

1. Christof Röhrig and Frank Künemund, “Estimation of Position and Orientation of Mobile Systems in a Wireless LAN”, New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007.

2. Leonimer Flávio de Melo, João Mauricio Rosário, Almiro Franco da Silveira Junior, “Mobile Robot Indoor Autonomous Navigation with Position Estimation Using RF Signal Triangulation”, Department of Electrical Engineering, State University of Londrina (UEL), accepted December 15th, 2012.

3. J. Borenstein , H. R. Everett , and L. Feng, “Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning”, The University of Michigan, april 1996.

4. Alonzo Kelly, “Precision Dilution in Triangulation Based Mobile Robot Position Estimation”, 2003.

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ РЕГРЕССИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА

Мирзакулова Ш.А., Бекмагамбетова Ж.М., Юсупова Г.М., Искакова А.Ж., Отепханова Б.С.
mirzakulova@mail.ru, zhamybek68@mail.ru, gulbahar68@mail.ru, bibinur_0892@mail.ru
Университет Туран, Алматы, Казахстан

Аннотация

Протекающие процессы при пакетном обмене данных по сети можно изучать с использованием особого типа статистических данных, именуемые временными рядами. При этом воздействие множества факторов (внешних и внутренних) приводит к изменениям характеристик процесса, которые рассматривают как случайные. Временные ряды подразделяются на стационарные и нестационарные, которые отличаются природой факторов, формирующих уровни ряда. Реально измеренные данные обычно не являются стационарными рядами, и они содержат тренд, описывающий устойчивые средние изменения показателей, сезонную компоненту, описывающий колебания показателя и случайную компоненту. Выполнен сравнительный анализ аппроксимации ряда с помощью Гауссовских ядер. Исследование показали сложную структуру временного ряда с трендом.

Непараметрическая регрессия отличается от параметрической регрессии тем, что использует модель, которая не требует спецификации функциональных форм исследуемого ряда. При этом данные искомого ряда определенным способом формируют модель. Самый простой разновидностью этого метода является ядерное сглаживание, которое позволяет оценивать условное математическое ожидание случайной величины [2]. При этом осуществляется поиск нелинейных отношений одномерного временного ряда.

Масштабно-зависимое сглаживание ряда осуществляется по формуле

$$\bar{x}(t,a)=\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} x(t+av)\cdot\psi_0(v)dv}{\int_{-\infty}^{+\infty}\psi_0(v)dv}. \qquad (1)$$

где $a>0$ - масштаб;

$\psi_0(t)$ - быстро затухающая функция.

Используется Гауссовское ядро

$$\psi_0(t)=\exp\left(-t^2\right). \qquad (2)$$

Оценка тренда может быть рассмотрена как процедура сглаживания временного ряда.

В работе рассмотрен реальный магистральный трафик. Это одномерный временной ряд интенсивности пакетов протокола UDP (User Datagram *Protocol*) с 1800 уровнями, измеренный в течение пяти часов за каждые 10 секунд.

На рисунке 1 приведен исходный временной ряд UDP в среде Spectra_Analyzer [1]. При этом видно, что структура ряда неоднородна.

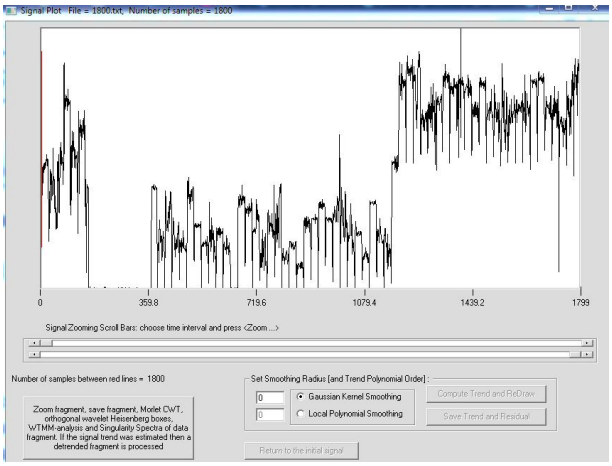


Рисунок 1 – Исходный временной ряд

На рисунке 2 приведен график зависимости $\ln\left(Z^{(m)}(q,s)\right)$ от $\ln(s)$ - логарифмов среднего значения масштабно-зависимых мер вариативности сигнала в степени q и последующего возведения результатов усреднения в степень 1/q, построенный на основе метода детрендированных флуктуаций DFA (Detrended fluctuation analysis) исходного ряда.

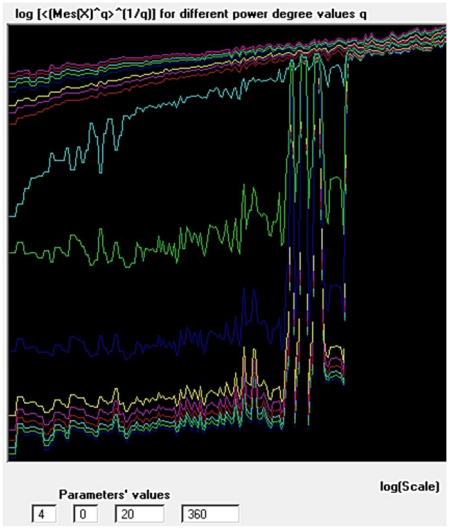


Рисунок 2 – График зависимости $\ln\left(Z^{(m)}(q,s)\right)$ от $\ln(s)$ исходного временного ряда

Осуществим Гауссовское ядерное сглаживание с параметром Gaussian Kernel Smoothing равным единице. На рисунке 3 приведены два графика. Верхний график имеет исходный ряд и наложенная на него сглаженная функция (на экстремумах исходной кривой более светлой видна трендовая кривая, которая не везде достает до сигнала). Нижний график представляет собой детрендированный исходный ряд, то есть исследуемый ряд с вычетом тренда. На рисунке 4 приведен график зависимости $\ln\left(Z^{(m)}(q,s)\right)$ от $\ln(s)$ исходного ряда без тренда.

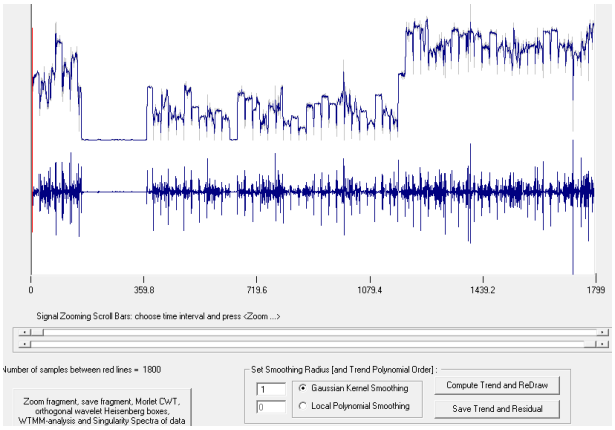


Рисунок 3 – Сглаженный и без тренда исходный ряд

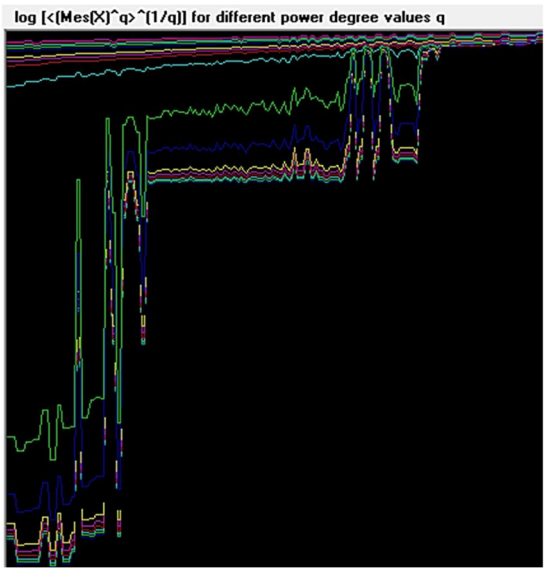


Рисунок 4 – График зависимости $\ln\left(Z^{(m)}(q,s)\right)$ от $\ln(s)$ исходного ряда без тренда

Рассмотрим детрендированный ряд в 2D диаграммы Морле (рисунок 5), которая показывает распределение логарифма энергии пульсации по времени и периодам. На этой диаграмме почти нет светлых пятен, так как тренд изъят.

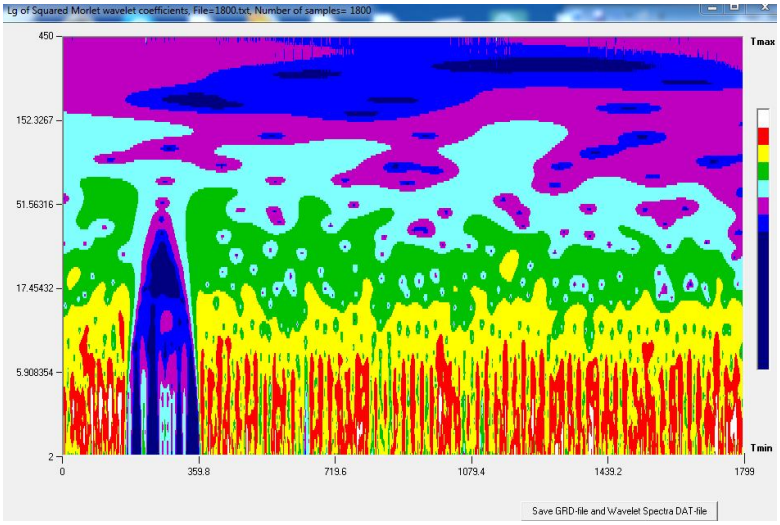


Рисунок 5 – Детрендированный ряд в 2D диаграммы Морле

На рисунке 6 показано иное представление детрендированного ряда в виде ящиков Гейзенберга, который также показывает отсутствие низкочастотной составляющей.

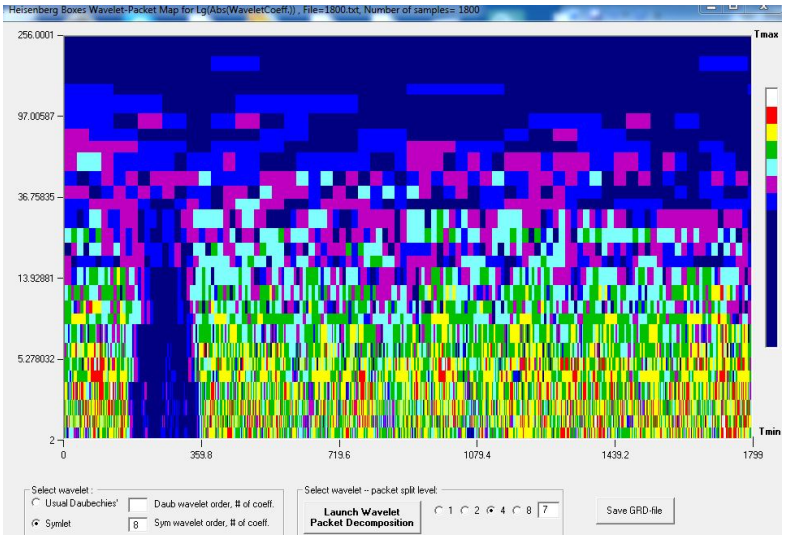
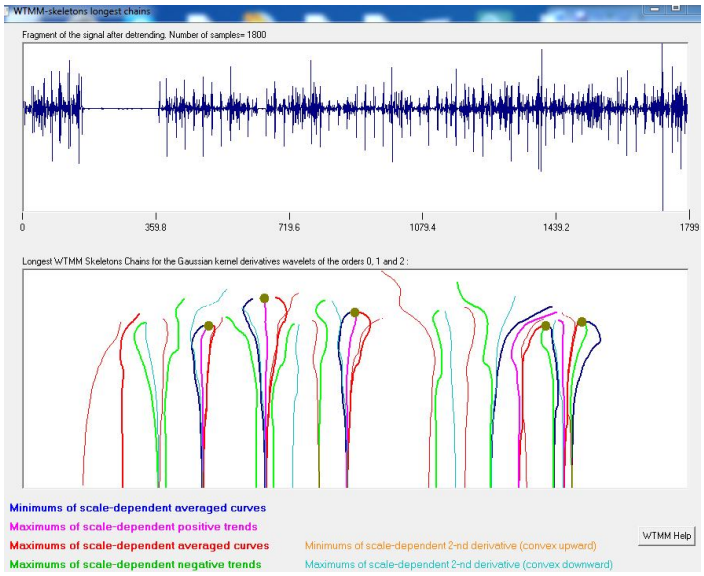


Рисунок 6 – Детрендированный ряд в виде ящиков Гейзенберга

На рисунке 7 показана структура длинных цепей скелетов модулей вейвлет-преобразований с нулевой, первой и второй производной от гауссиана детрендированного временного ряда.



Выводы:

- исследуемый временной ряд является нестационарным и имеет сложную структуру;
- аппроксимация Гауссовскими ядрами хорошо сгладила исходный ряд;
- структура детрендированного ряда рассмотрена в 2D диаграммы Морле, в виде ящиков Гейзенберга и в виде длинных цепей скелетов модулей вейвлет-преобразований с нулевой, первой и второй производной от гауссиана.

Литература

1 Любушин А.А. Разведочный анализ свойств временного ряда. Учебное пособие для старших курсов геофизического факультета. – М., 2006. – 47 с.

2 https://ru.wikipedia.org/wiki

3 Анатольев С. Непараметрическая регрессия // журнал «Квантиль», 2009. – С.37-51.

МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦИИ В ЗАДАЧЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Младенович Н.[1,2], Красовицкий А.[2], Мусабаев Р.[2]
e-mail: nenad@mi.sanu.ac.rs, akrassovitskiy@gmail.com, rmusab@gmail.com
[1]Эмиратский технологический колледж, Абу Даби, ОАЭ
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. *Кластеризация крупномасштабных наборов данных (BigData) в настоящее время является актуальным предметом и обсуждается в литературе*

как с прикладной точки зрения, так и в теоретических аспектах. Одним из широко распространенных способов оценки качества кластеризации является критерий суммы квадратов расстояний (Sum of Squire Distance - SSD). В этом исследовании мы показываем, что можно достичь высококачественных результатов с точки зрения критерия SSD, применяя итеративную процедуру кластеризации к подмножествам входного набора данных. Также демонстрируем, что время кластеризации можно использовать как дополнительный параметр, который позволяет повысить качество кластеризации.

Введение

Методы кластеризации в последнее время привлекают большое внимание как эффективные инструменты в теоретических и прикладных задачах машинного обучения, и которые позволяют обнаруживать закономерности в необработанных/ слабоструктурированных данных. Другая мотивация связана с необходимостью обработки больших наборов данных для получения естественной группировки данных. Следовательно, одним из основных аспектов для методов кластеризации является их масштабируемость.

Существует ряд исследований, направленных на улучшение качества за счет стоимости и сложности времени [7, 8]. Этот тип методов обычно имеет существенный недостаток: практически невозможно кластеризовать средние и большие наборы данных (приблизительно $10^5 \sim 10^7$ элементов и более). Эти методы не могут работать с огромными базами данных, потому что вычислительная сложность по времени / пространству(памяти) растет (полиномиально) очень быстро. Следовательно, имеет смысл искать алгоритмы, с хорошим согласованием между эффективной масштабируемостью и качеством кластеризации [1-4]. Одним из известных методов кластеризации данных является алгоритм *k*-средних, который широко используются благодаря своей простоте и хорошим характеристикам [10]. Ряд алгоритмов и технологий усовершенствовали этот метод при помощи кластеризации по частям [6]. Существуют алгоритмы, которые используют подход декомпозиции данных, например, mini batch *k*-means [11]. Взвешенная версия алгоритма *k*-средних дана с приложениями в [3]. Мета-эвристики могут существенно помочь тогда, когда точное решение сложно или дорого с точки зрения используемого машинного пространства / процессорного времени. Разработаны и реализованы некоторые эвристики для *k*-средних, которые ускоряют вычисления: Часть данных эвристик занимается ускорением сходимости метода, другая отбрасывает избыточные либо малозначимые промежуточные вычисления: Следующие примеры мета-эвристик показали свою эффективность при кластеризации больших данных:

• удаление на каждой итерации паттернов данных, которые маловероятно изменят свою принадлежность к тому или иному кластеру, как в [4];

• используя неравенство треугольника в [12];

• комбинации различных техник [5, 13, 14].

В данной работе мы используем модификацию *k*-means++ для построения алгоритмической мета-эвристики, которая на каждом шаге использует некоторые подмножествах из всего набора данных. Цель данной работы являлось создание

метода декомпозиции для алгоритма *k*-средних на крупномасштабных наборах данных для инициализации центроидов, чтобы получить качественные результаты в отношении критериев MSSD (минимальная сумма квадратов расстояний). Другими словами, мы используем метод нахождения инициализации *k*-средних таким образом, чтобы он был близок к оптимальному при этом обладая высокой скоростью расчета. Используется мета-эвристика в задаче кластеризации *k*-средних путем обработки полученных данных во вторичной (высокоуровневой) процедуре кластеризации. Другой целью данной работы является исследования эффективности полученной эвристики и изучении поведения полученного алгоритма при изменениях мета-параметров алгоритма.

1. Алгоритм

Идея нашего подхода в том, что сначала мы разделяем весь набор данных, случайным образом на подмножествах фиксированного размера, так называемых *пакетах* данных. Мы задействуем либо все объекты набора данных, либо некоторую их часть таким образом, чтобы используемые подмножества оставались представительными. Следующим шагом является кластеризация методом *k*-средних данных этих пакетов. Оценивая *SSD* по полученным кластерам, мы делаем эвристику для “хорошей” инициализации алгоритма для всего набора данных.

(Мета-) параметры:

• k – заданное количество кластеров;

• N – количество объектов во всем наборе данных;

• d – размер одного пакета данных (количество объектов в одном пакете). В нашей работе размеры пакетов выбирались пропорционально всему набору данных. Например, разбиение на 5 пакетов означает, что используем пакеты длинной [N / 5] объектов.

• n – количество пакетов, используемых для независимой инициализации *k*-средних, фаза 1;

• m ($\geq n$) - число пакетов, используемых для кластеризации в фазе 2. При этом объединение объектов всех m пакетов не обязано быть равным всему набору данных.

Мы рассмотрели следующие два способа для генерации пакетов:

1. Сегментация всего набора данных на пакеты: создается случайная перестановка объектов в используемом наборе данных. Набор данных сегментируется в последовательные пакеты размера d. Мы называем этот способ декомпозицией на унифицированные пакеты.

2. Для каждого пакета выбирается d случайных объектов из всего набора. Повторяя это, генерируется необходимое количество пакетов (в разных пакетах объекты могут повторяться, однако в каждом из пакетов все объекты уникальны). Мы называем это способом генерации случайных пакетов.

Алгоритм состоит из двух частей. В первой части (фаза 1) применяется алгоритм *k*-средних++ на каждом из n пакетов независимо. Схема алгоритма показана на Рис. 1. Цель данной фазы - найти усредненный набор центроидов, соответствующий пакетам 1, …, n.

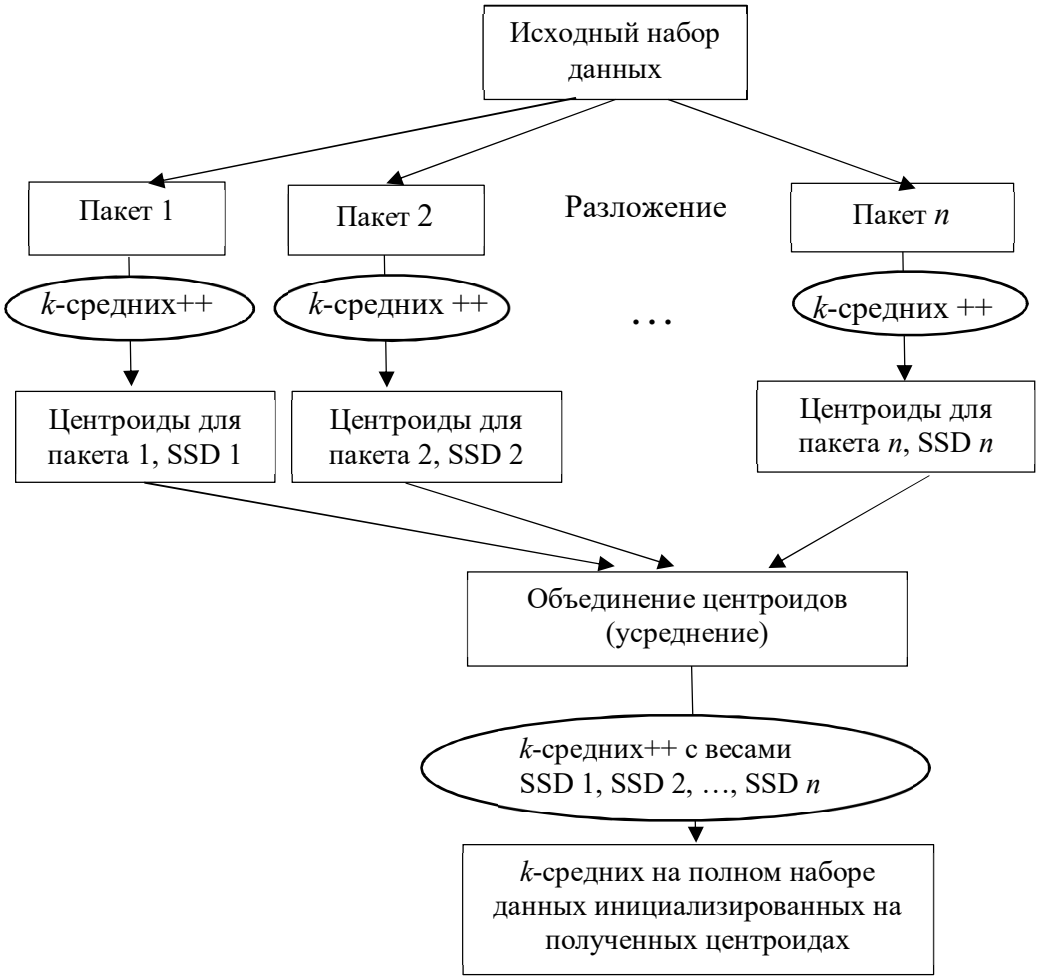


Рисунок 1. Схема параллельной кластерной декомпозиции на пакетах 1, ..., *n*.

Центроиды всех пакетов (*n* штук) объединяются в один новый набор данных. Каждому элементу из получившегося набора данных присваивается вес, соответствующий нормализованному значению *SSD* для тех пакетов, в котором он рассматривается как центроид. Вес *i*-го объекта рассчитывается следующим образом:

$$w_i = 1 - (SSD_i - SSD_{min})/(SSD_{max} - SSD_{min}),$$

где SSD_i - это значение *SSD* для пакета, из которого *i*-й центроид взят в качестве объекта. Затем с помощью *k*-средних новый набор данных делится на *k* кластеров с учетом весов объектов w_i. В случае вырождения *k*- средних, т.е. когда алгоритм сходиться к разбиению, в котором присутствуют кластеры размера ≤ 1; в таком случае алгоритм инициализируется повторно. Полученные центроиды могут использоваться для:

• 1. Инициализации *k*-средних на всем наборе данных (качественное приближение).

- 2. Оценки *SSD* по всему набору данных.
- 3. Инициализации алгоритма, описанного в следующей части (фаза 2).

2. Дополнение алгоритма

Центроиды вычисленные на предыдущем этапе являются усреднением центроидов для случайно выбранных подмножеств исходного набора данных. При условии, что исходные пакеты были достаточно представительных размеров, данный набор центроидов может служить приближением к оптимальному значению кластерного разбиения и могут быть использованы, как указано в пунктах 1 и 2, для всего набора данных. Однако, если размеры пакетов, либо структура данных таковы, что получившиеся значение глобального *SSD* не дает явно выраженного минимума, то для этого случая предлагаем следующее улучшение алгоритма. Будем использовать полученные центроиды в качестве начальных приближений для *k*-средних на дополнительно сгенерированных пакетах. При обработке последующих пакетов $n + 1$, $n + 2$, ..., m (фаза 2) мы рассмотрели два варианта: параллельный (2.1) и последовательный (2.2).

2.1. Параллельный вариант

Центроиды, полученные в предыдущей фазе 1, используются для инициализации *k*-средних в каждом последующем пакете $n + 1$, $n + 2$, ..., m. Получающиеся центроиды и SSD сохраняются, если нет дегенерации центроидов. Условием остановки является указанное ограничение либо по времени вычисления, либо по количеству обрабатываемых пакетов. Подобно фазе 1, мы делаем кластеризацию на объединенном наборе центроидов. Последующее использование его результатов аналогично пунктам 1 и 2 фазы 1.

2.2. Последовательный вариант

Ниже приведена последовательная версия алгоритма. Данная версия схематически представлена на рис. 2.

Центроиды из фазы 1 используются для кластеризации *k*-средних для пакетов $n + 1, \ldots, n + l, \ldots$ Критерием остановки для данного варианта выступает некоторый фиксированный временной интервал (как правило сравнимый с интервалом вычисления k-средних++ на всем наборе данных). В данном варианте результаты кластеризации на новых пакетах аддитивно добавляются к уже полученным. Если во время кластеризации не происходит вырождения, то используются получившиеся центроиды и соответствующие им значения *SSD*, в противном случае возвращаемся к фазе 1. Чтобы получить новые центроиды, была проведена кластеризация с весами на объединенном наборе центроидов (по аналогии с фазой 1). До тех пор, пока не вышло заданное время, процедура повторяется на новых сгенерированных пакетах данных как описано в фазе 1. Наконец, когда срабатывает ограничение по времени, использование полученных результатов, а именно, последних вычисленных центроидов, аналогично пунктам 1 и 2 фазы 1.

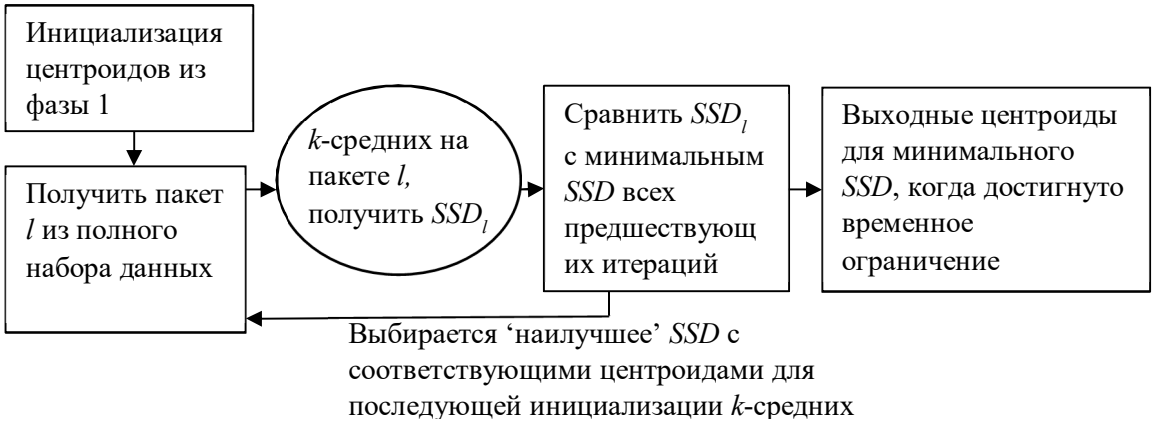


Рисунок 2. Схема последовательной кластерной декомпозиции на пакетах *n*+1, *n*+2, ..., *n*+*l*, ...

3. Эксперименты

В Таблице 1 представлены результаты экспериментов нашего алгоритма на наборах данных различных размеров. Для каждого из наборов данных генерируются пакеты, размеры которых ранжированы следующим образом: 1/5 × *N*, 1/10 × *N*, ..., 1/100 × *N*, с шагом деления 1/(5*j*) × *N*, *j* = 1, …, 20.

Таблица 1: Результаты сравнения улучшенным алгоритма 2 на разных наборах данных и алгоритма *k*-средних. Показаны соответствующие значения *SSD* критерия и время вычисления (схождения алгоритма)

Размер набора данных	Число экспериментов	Улучшение, в сравнении с *k*-средним	$SSD(k-\text{средних}++)$ / $SSD(\text{наш алгоритм})$	Число случаев превышения времени	время (наш алгоритм) / время $(k-\text{средних}++)$
1×10^3	1590	33 (2.1%)	0.964	0	0.330
1×10^3	1186	35 (2.9%)	0.989	17	0.433
50×10^3	312	14 (4.5%)	0.992	15	0.051
2×10^6	1140	345 (30.3%)	1.000	10	0.386
1×10^6	300	160 (53.3%)	1.000	12	0.394
1×10^6	82	40 (48.8%)	0.996	41	0.971
1×10^{6}*	30	26 (86.7%)	1.000	30	1.650
5×10^{6}**	260	165 (63.5%)	1.000	0	0.160

Описание наборов данных:

• Первые четыре строки в таблице экспериментов описывают кластеризацию на синтаксических наборах данных с размерами от 1×10^3 элементов до 2×10^6 и с количеством атрибутов от 20 до 100. Рассматривались пакеты разных размеров. Структура синтетических данных – это фиксированное количество синтетических сгустков (blobs) гауссовского распределения.

• Для набора данных размера 50×10^3 число кластеров рассматривалось в диапазоне от 5 до 70 с шагом 2. Синтетические данные представляли собой также случайно сгенерированные плотностные сгустки. Их число перебиралось в диапазоне от 30 до 140. Количество пакетов варьировалось в диапазоне от 5 до 100 с шагом 5.

• Набор данных размера 5×10^6 SUSY получен из открытой базы данных UCI [9].

• * Набор данных предварительно нормализован.

• **В данном варианте кластеризации искали только два класса; декомпозиция набора данных проводилась на пакеты $1/5 \times N$, $1/10 \times N$, ..., $1/150 \times N$.

Рис. 3 и 4 демонстрирует преимущество нашего алгоритма при сравнении критерия *SSD* для различных размеров пакетов / числа кластеров *k*. Отображены 560 экспериментов, проведенных на синтаксическом наборе данных размером 1×10^6. На рис. 5 показана разница во времени вычислений нашего алгоритма и *k*-средних++. По оси *X* составлена комбинация из числа кластеров *k* (индекса числа кластеров) и размера пакетов *l* (индекса). Значения соответствуют формату $k \times 20 + l$. Периодичность пиков соответствует повторениям l=1, …, 20 с монотонно меняемыми размерами пакетов.

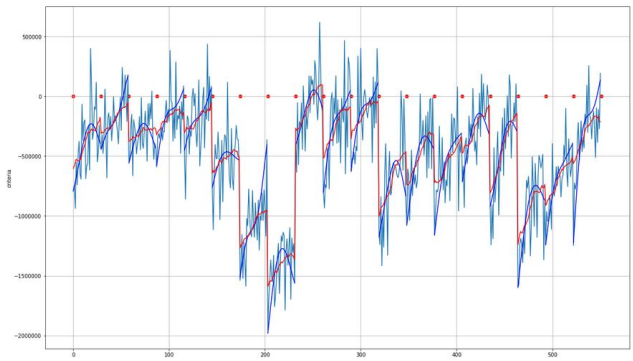


Рисунок 3. Расчетная разница между критерием SSD для нашего алгоритма и *k*-средних++. Режим генерации случайных пакетов

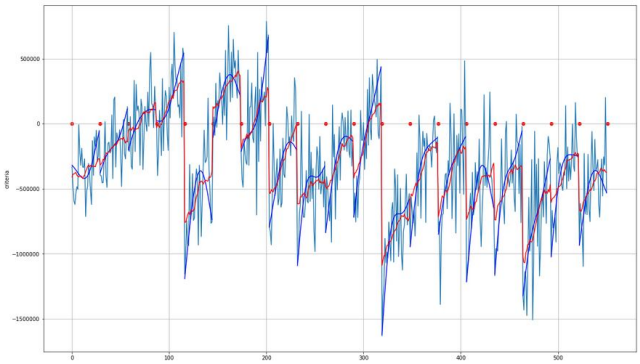


Рисунок 4. Расчетная разница между критерием SSD для нашего алгоритма и *k*-средних++. Режим декомпозиции на унифицированные пакеты

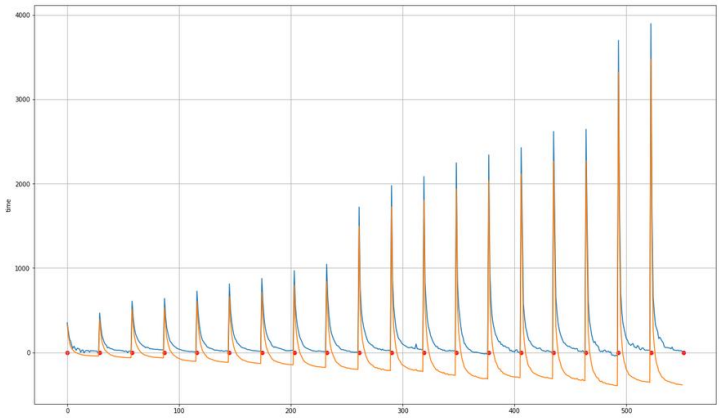


Рисунок 5. Сравнение времени вычислений для нашего алгоритма и k-средних ++ (показана разница между двумя алгоритмами). Нижняя диаграмма представляет время только для кластеризации без шагов инициализации и шага оценки SSD всего набора данных. Пики соответствуют самым большим размерам пакетов (1/5 × N). Монотонные спады соответствуют размерам окна 1/10 × N, 1/15 × N, ..., 1/100 × N

Заключение и выводы

В нашем подходе мы показываем, что можно улучшить результаты в отношении *SSD* критерия, применяя итеративную процедуру кластеризации к подмножествам набора данных. Полученные центроиды повторно обрабатываются мета-кластеризацией, что дает улучшенное решение.

Некоторые наблюдения:

• Центроиды, рассчитанные этим методом для больших наборов данных, обеспечивают приемлемые значения *SSD* даже без кластеризации по всему набору данных.

• Размеры пакетов должны быть репрезентативными, поэтому нет смысла разбивать набор данных на большое число пакетов. В этом случае число вырожденных кластеров существенно возрастает, что приводит к замедлению алгоритма и чувствительностью к шуму.

• На нормализованных данных обнаруживается небольшое улучшение, по сравнению с ненормализованными наборами данных (в случаях, когда количество кластеров *k* невелико).

• Наши эксперименты в основном подтверждают идею о том, что точность результатов кластеризации сильно зависит от размера исходного набора данных (избыточности), хотя она не сильно зависит от размера пакетов кластеризации. Следовательно, этот параметр может быть оптимизирован для ускорения вычислений.

Хотя идея кластерной декомпозиции достаточно известна, мы обобщаем ее, выстраивая алгоритмическую структуру мета-эвристики, которая позволяет использовать хорошо зарекомендовавшие себя алгоритмы кластеризации и предоставлять оценки для соответствующего снижения времени вычислений / критерия *SSD*.

Благодарности и признания

Это исследование проводится в рамках проекта ПЦФ BR05236839 «Разработка информационных технологий и систем для стимулирования устойчивого развития личности как одна из основ развития цифрового Казахстана».

Литература

1. Bagirov, A.M.: Modified global *k*-means algorithm for minimum sum-of-squares clustering problems. Pattern Recognition 41 (10), 3192--3199 (2008). DOI https://doi.org /10.1016/j.patcog.2008.04.004. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii /S0031320308001362. (09.06.2019)

2. Bahmani B., Moseley B., Vattani A., Kumar R., Vassilvitskii S., Scalable *k*-means++. Proc. VLDB Endow. 5(7), 622–633, 2012.

3. Capó M., Pérez A., Lozano J.A., An efficient approximation to the *k*-means clustering for massive data. Knowl.-Based Syst. 117, 56–69, 2017.

4. Chiang M.C., Tsai C.W., Yang C.S., A time-efficient pattern reduction algorithm for *k*-means clustering. Inform. Sci. 181(4), 716–731, 2011.

5. Comparing different clustering algorithms on toy datasets. URL http:// scikit-learn.org/stable/auto_examples/cluster/plot_cluster_comparison.html. (09.06.2019)

6. HajKacem M.A.B., N'Cir CE.B., Essoussi N. Overview of Scalable Partitional Methods for Big Data Clustering. In: Nasraoui O., Ben N'Cir CE. (eds) Clustering Methods for Big Data Analytics. Unsupervised and Semi-Supervised Learning. Springer, Cham, 2019.

7. Karlsson, C. (ed.): Handbook of Research on Cluster Theory. Edward Elgar Publishing, 2010.

8. Krassovitskiy A., Mussabayev R. Energy-Based Centroid Identification and Cluster Propagation with Noise Detection. In: Nguyen N., Pimenidis E., Khan Z., Trawiński B. (eds) Computational Collective Intelligence. ICCCI 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11055. Springer, Cham, 2018.

9. Online clustering data sets UCI. URL https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html. (09.06.2019)

10. Wu, X., Kumar, V., Ross Quinlan, J., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., McLachlan, G.J., Ng, A., Liu, B., Yu, P.S., Zhou, Z.-H., Steinbach, M., Hand, D.J. and Steinberg, D. (2007) Top 10 Algorithms in Data Mining. Knowl. Inf. Syst., 14, 37. DOI 10.1007/s10115-007-0114-2, 2008.

11. Comparison of the K-Means and MiniBatchKMeans clustering algorithms. https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/cluster/plot_mini_batch_kmeans.html . (09.06.2019)

12. S.J. Redmond, C. Heneghan, A method for initialising the K-means clustering algorithm using kd-trees. Pattern Recogn. Lett.28(8), 965–973, 2007.

13. X. Cui, P. Zhu, X. Yang, K. Li, C. Ji, Optimized big data K-means clustering using MapReduce. J. Supercomput. 70(3), 1249–1259, 2014.

14. T. Washio, K. Nakanishi, H. Motoda, Deriving Class Association Rules Based on Levelwise Subspace Clustering. In: Jorge A.M., Torgo L., Brazdil P., Camacho R., Gama J. (eds) Knowledge Discovery in Databases: PKDD 2005. PKDD 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3721. Springer, Berlin, Heidelberg

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VULKAN ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЙ БОЛЬШИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СО ВРЕМЕНЕМ

[1]Мустафин М.Б., [2]Турар О.Н., [3]Ахмед-Заки Д.Ж.
e-mail: mustafin.mb@gmail.com
[1,2]Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Казахстан,
[3]Университет международного бизнеса

Аннотация. *В данной работе было разработано высокопроизводительное приложение для визуализации сеточных моделей больших размеров (около млн. ячеек), с использованием технологий Vulkan. Для работы приложения без прерывания было использовано двойная буферизация буфера вершин и многопоточность процессора. Для визуализаций 2D и 3D модели были взяты результаты уравнения Пуассона, а именно данные каждой итерации. Используя вышеуказанные методы, приведены примеры сеточной модели уравнения Пуассона. В результате данной работы был разработан и представлен прототип визуализатора, которую можно использовать для любых результатов численного математического моделирования на структуированных и неструктурированных 3D сетках.*

1 Введение

Vulkan – это API для графических и вычислительных устройств [1]. Как и OpenGL [2], Vulkan позволяют с высокой производительностью отображать пиложения 3D-графикой в реальном времени [3][4], а так же более высокую производительность и меньшую нагрузку на центральный процессор. Технология Vulkan был основан на технологиях AMD Mantle [5]. По сравнению с технологией OpenGL, Vulkan является низкоуровневым API и обладает в целом анологичными возможностями. Это позволяет использовать всю возможность графического процессора для вычисления, получить низкоуровневый доступ к GPU и контроля его работы[6].

В отличий от OpenGL, шейдеры в Vulkan представлены, бинарным промежуточным представлением программ SPIR-V [7]. SPIR-V – это единственный поддерживаемый шейдерный язык для Vulkan. Он принимается на уровне API и используется для создания конвейеров, предназначенных для управления устройства для выполнения работы приложением [8][6].

В данной статье предлагается визуализация в реальном времени больших сеточных моделей с использованием технологий Vulkan на типовых персональных компьютерах, оснащенных дискретной графической картой [9]. Для хранения и обновления данных было использовано двойная буферизация буферов вершин [10] и многопоточность C++11 [11]. Предлагаемый подход к визуализации сеточной модели оптимизирует скорость отрисовки.

Отметим, что представленное приложение может быть использован для любых результатов численного математического моделирования на структуированных и неструктурированных 3D сетках.

2 Обзор литературы

В настоящее время Язык шейдеров OpenGL (GLSL) является основной частью программирования с использованием библиотеки OpenGL [2][7][15]. С помощю GLSL можно пользоваться мощью графического процессора для отображения и вычислений. На основе GLSL была создана библиотека RGL, которая предлагает трехмерную визуализацию в реальном времени [3][4]. В работе [10][16] были использованы возможности графического процессора и языка шейдеров библиотеки OpenGL, а также провизуализированы результаты численного математического моделирования.

В последнее время технология Vulkan набирает большую популярность в сфере визуализаций. Vulkan – это кроссплатформенный графический и вычислительный API разрабатываемый консорциумом Kronos Group [5]. Vulkan является приемником OpenGL, но очень сильно отличается. Основным отличием является то, что раньше делал драйвер OpenGL, является обязанностью программиста [6][18]. Еше одно отличие технологий Vulkan от OpenGL, это шейдерный язык. Vulkan поддерживает единственный шейдерный язык SPIR-V[8]. В литературах [14][17][19] можно ознакомится со спецификациями технологии Vulkan.

В работе [11] описывается языки и библиотеки для многопоточного програмирования, и как развить навыки программирования, а также описываются и демонстрируются различные методы тестирования и отладки, разработанные для многопоточных программ за последние 20 лет.

3 Материалы и методы

Целью данной работы была разработка высокопроизводительного приложения для визуализации результатов численного математического моделирования, используя технологию Vulkan.

В более старых API, таких как OpenGL, драйвер управляет синхронизацией и памятью, во время выполнения приложения проверяет на ошибки. Это удобно для программистов, но на все это тратится время CPU. В Vulkan передаются все обязанности в руки программиста, т.е. практически все отлеживания состояния, управление памятью и синхронизацией [14].

3.1 Системы координат

Vulkan работает с отрезками и треугольниками, представляя их вершины как точки в трехмерном пространстве. Они называются вершинами [15].

Для начала была создана сетка с размером 50x50 и заполнена случайными цветами. Каждый квадрат сетки состоит из двух треугольников, которые задаются координатами [16]. В функций initVertices() был заполнен вектор, в котором содержатся координаты и цвет каждой вершины треугольника.

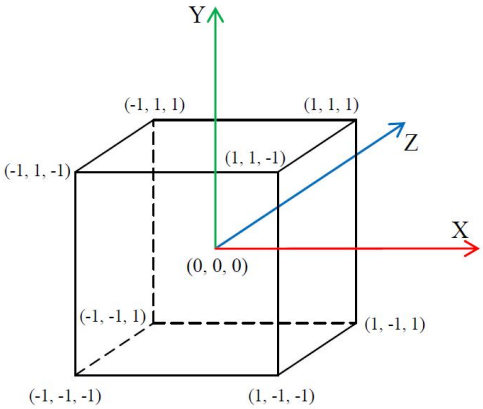


Рис. 1 Система координат вершин

3.2 Память и ресурсы

Практически для всех вычислительных систем, вкючая Vulkan, память является крайне важным. В Vulkan существует два базовых типа памяти: память CPU (host memory) и память GPU (device memory). При созданий нового объекта в Vulkan понадобится память для хранения данных. Для этого используется обычная память CPU.

Vulkan работает с данными, а данные хранятся в ресурсах. В Vulkan есть два базовых типа ресурсов: буферы и изображения [6]. Буфер – это простой линейный кусок памяти, который может быть использован для различных целей. Они используются для хранения линейных структурированных и неструктурированных данных, которые могут иметь формат или просто быть байтами в памяти.

3.3 Управление памятью устройства

Когда Vulkan работает с данными, эти данные должны храниться в памяти устройства (device memory). На рисунке 1 Схема памяти GPU и CPU, каждый со своей памятью [6].

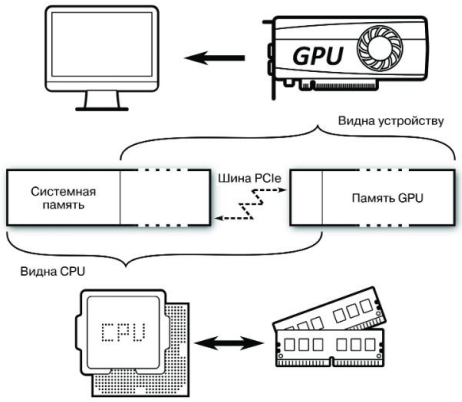


Рис. 2 Память CPU и GPU

3.4 Выделение памяти устройства

Выделение памяти устройства представлено как объект VkDeviceMemory, создаваемый с помощью функций vkAllocateMemory(), прототип которого приводится ниже [17][6][18][19]:

```
VkResult vkAllocateMemory (
VkDevice  device,
const VkMemoryAllocateInfo*     pAllocateInfo,
const VkAllocationCallbacks*    pAllocator,
VkDeviceMemory*                 pMemory);
```

После выделения памяти устройства, ее можно использовать для хранения данных. Таким образом, был создан буфер под названием vertexBuffer и использован для хранения данных вершин. После проведения всех работ получаем следующее:

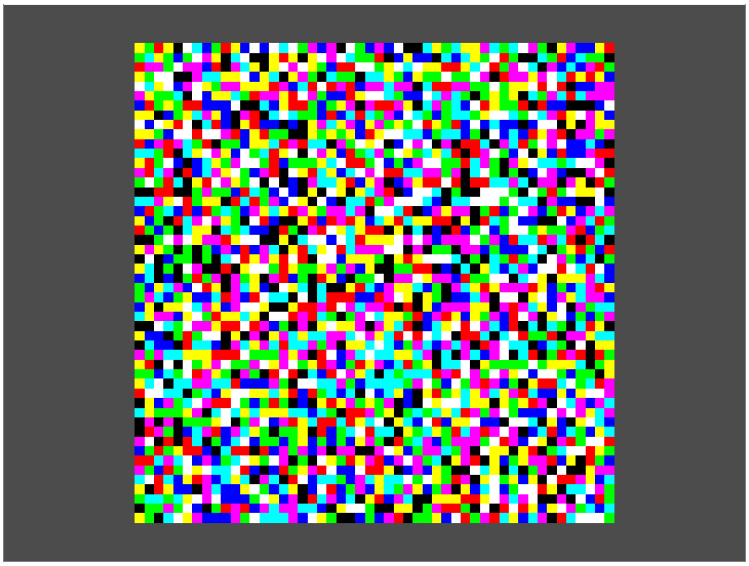


Рис. 3 Сетка с размером 50x50

При визуализации в реальном времени будут поступать новые данные, а это данные цветов каждой ячейки. Так как координаты и цвет ячеек записаны в одном буфере, координаты будут перезаписываться, а это трата драгоценного времени CPU. Чтобы решить эту проблему был создан отдельный буфер для данных цветов. В результате получим два буффера: posBuffer – для хранения данных координат и colBuffer – для хранения данных цветов. Программа будет работать в реальном времени, а значит данные будут поступать постоянно. Создаем новый буфер colBuffer1 для хранения новых данных.

3.5 Обновление буфера

Для обновления данных внури буфера была использована функция vkCmdUpdateBuffer [19]. vkCmdUpdateBuffer() копируют данные напрямую из памяти CPU в память буфера. Данные забираются из памяти CPU при вызове, и по

возращении из vkCmdUpdateBuffer() можно освободить эту память или записать в нее новые данные.

3.6 Двойная буферизация буфера вершин

Двойная буферизация – метод подготовки данных, обеспечивающий возможность отдачи готового результата без прерывания [10]. Этот метод повсеместно используется при работе с буфером кадра. Данная статья описывает использование похожего подхода для буферизации данных цветов на модели пласта. Метод заключается в следующем. Создается второй буфер, и данные заполняются только на нем. Как только завершается процесс чтения, буферы меняются местами, и вывод данных начнет осуществляться из второго буфера, а новые данные заполняться в первый буфер. Это похоже на двойную буферизацию кадров и используется для буферов вершин. На рисунке 4 и 5 приведены примеры отрисовки каждого буфера.

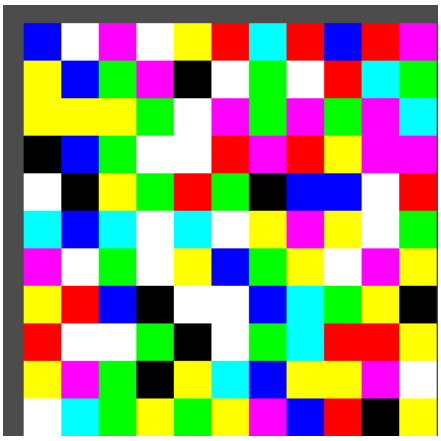


Рис. 4 Отрисовка colBuffer

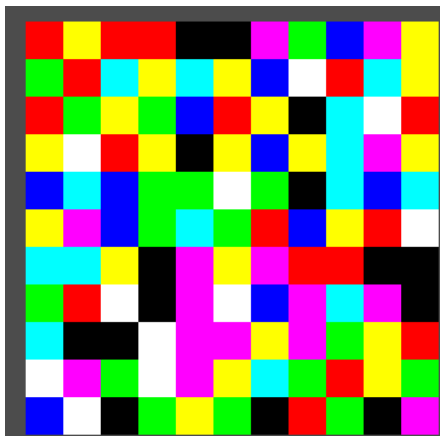


Рис. 5 Отрисовка colBuffer1

При чтении и записи новых данных функция отрисовки drawFrame() останавливается и программа не будет реагировать пока данные не будут инициализированы. Несмотря на то, что на Vulkan процессы на CPU и GPU происходят асинхронно, интерактивное управление моделью такое, как поворот и перенос модели с помощью мыши и клавиатуры, должно осуществляться на CPU. Если все действия на центральном процессоре будут происходит в одном потоке, на время записи в буфер мы не будем иметь возможность взаимодействовать с трехмерной моделью. Например, если мы будем вызывать функцию чтения и записи каждые десять секунд, а эта функция будет выполняться за шесть секунд, в результате мы получим программу, которая не реагирует в момент инициализации и работает только на оставшееся время. Визуальный пример приведен ниже на рисунке 6.

Рис. 6 - Отрисовка, - Копирование (A-host to host, B – host to device)

Чтобы входные данные записывались, не останавливая работу отрисовки, ее нужно выполнять параллельно. Для этого будем использовать многопоточность C++ 11 [11]. Современные компьютеры имеют многоядерные процессоры, в них многопоточность осуществляется тем, что на разных ядрах исполняются несколько процессов. Используя возможность многопоточности мы передаем команду чтения и заполнения буфера в другой поток, и она будет выполняться параллельно, не влияя на отрисовку. То есть, когда на экране отображается входные данные из первого буфера, параллельно будет обновляться второй буфер. Как только второй буфер будет готов, буфера меняются местами. Визуальный пример приведен на рисунке 7.

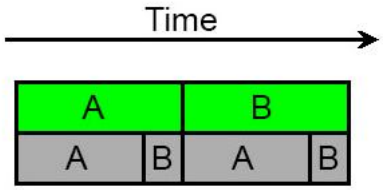


Рис. 7 - Отрисовка, - Копирование (A-host to host, B – host to device)

Как видим на рисунке 6 и 7, инициализация данных проходит в два этапа: чтение и запись даных в системную память (A), и копирование из системной памяти в память GPU (B). Большее время инициализации занимает чтение и запись новых данных в системную память, т.е. host to host.

4 Результаты

Для получения результата использовался персональный компьютер (Core i7 3770 3.40 GHz, 8Gb DDR3), оснащенный дискретной графической картой (nVidia GeForce GTX650Ti, 1Gb GDDR5). В качестве входных данных были взяты результаты каждой 100-ой итераций уравнения Пуассона с размером 1000x1000 для 2D и 33x33x11 для 3D, количество итераций 20000 [12]. Для визуализации трехмерной модели был использован фотмат GRDECL [20]. Чтобы инициализировать данные с файла считываем данные построчно и вместо случайных цветов в вершинах заполняем полученными данными.

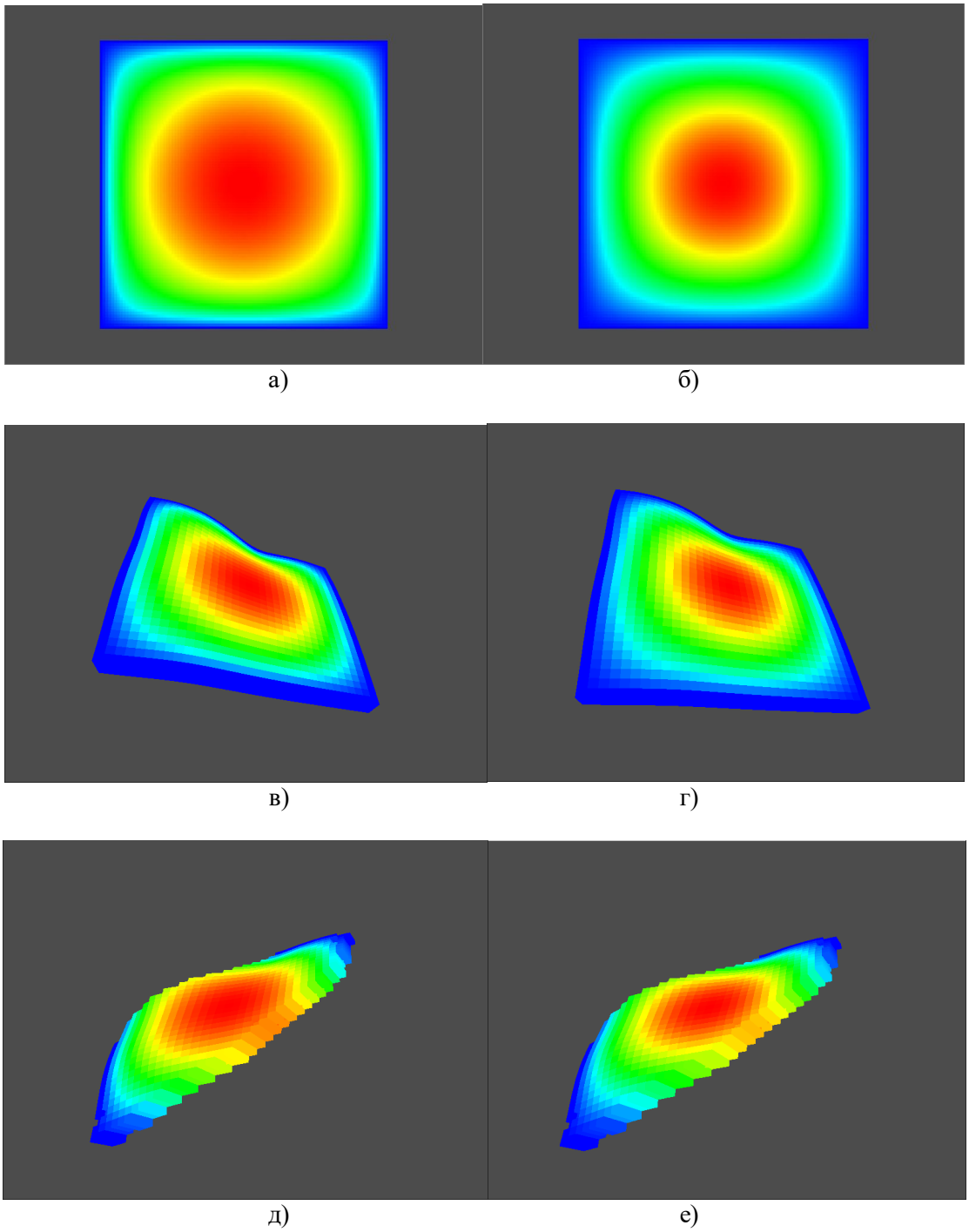


Рис. 8 Примеры визуализаций сеточной модели уравнения Пуассона: а) 2D модель самой первой итераций, б) 2D модель самой последней итераций, в) 3D модель самой первой итераций, г) 3D модель самой последней итераций, д) 3D модель с неакивными участками самой первой итераций, е) 3D модель с неактивными участками самой последней итераций

На рисунке 8 представлен прототип приложения, визуализирующий результат сеточной модели уравнения Пуассона. Были произведены замеры и получены результаты представленные на таблице 1

Таблица 1. Результаты замера

Размерность	2D,1000x1000	3D, 33x33x11
Количество ячеек	10^6	11979
FPS (кадры в секунду)	1750	4415
copy host to host, мс	8438	97
copy host to device, мс	14	0

При запуске приложения для сеточной модели с вышеуказанными размерами большее время занимает копирование host to host, т.е. чтение и запись данных в системную память, которая зависит от ресурсов компьютера: скорость чтения и записи жесткого диска, скорость передачи данных через интернет. Копирование данных с системной памяти в память устройства зависит от таких характеристик графического процессора: шина памяти, интерфейс памяти, скорость передачи данных памяти, пропускная способность памяти, тип выделенной видеопамяти.

Таблица 2. Характеристика графической карты nVidia Geforce GTX650Ti

Шина памяти	PCI Express x16 Gen3
Интерфейс памяти	128 бит
Скорость передачи данных памяти	5400 МГц
Пропускная способность памяти	86.40 ГБ/с
Тип выделенной видеопамяти	1024 МБ GDDR5

Заключение

Используя технологию Vulkan, было разработано высокопроизводительное приложение, которое визуализирует в реальном времени сеточные модели численного математического моделирования. Для того, чтобы приложение работало без прерывания, была использована двойная буферизация буферов вершин и многопоточность C++11. Метод двойной буферизации буферов вершин использовалось для буферизации данных цветов на модели пласта. Данный подход к визуализации сеточной модели оптимизировала скорость работы приложения. Представлено приложение, визуализирующее 3D-графику в реальном времени, с высокой производительностью и меньшей нагрузкой на центральный процессор. Для примера были взяты результаты уравнения Пуассона 2D и 3D. Готовое приложение будет применяться для визуализаций моделей результатов численного математического моделирования.

Литература

1. Khronos Group. SPIR Overview. – https : //www.khronos.org/spir/. (13.07.2017).

2. Wolff D., OpenGL 4.0 Shading Language Cookbook. Packt Publishing Ltd. Birmingham (2011) 17. Wolfram, S.: Mathematica Book. [D. Wolff, OpenGL 4.0 Shading

Language Cookbook. Packt Publishing Ltd. Birmingham (2011) 17. Wolfram, S.: Mathematica Book.]

3. Daniel Adler, Oleg Nenadic, Walter Zucchini, RGL: A R-library for 3D visualization with OpenGL

4. T. Mullen *et al*., "Real-time modeling and 3D visualization of source dynamics and connectivity using wearable EEG," *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Osaka, 2013, pp. 2184-2187.

5. "Vulkan." Nvidia developer, accessed – https://developer.nvidia.com/Vulkan/. (09.12.2017).

6. Селлерс Г. Vulkan. Руководство разработчика. Официальное руководство / пер. С англ. А. Б. Борескова. – М.:ДМК Пресс, 2017. – 394с.:ил.

7. Sellers G., Wright R.S. Jr., Haemel N. OpenGL SuperBible: Comprehensive Tutorial and Reference (6th Edi- tion). Addison-Wesley Professional; 6 edition (July 31, 2013) 2013 P. 848. [G. Sellers, R.S. Jr. Wright, N. Haemel, OpenGL SuperBible: Comprehensive Tutorial and Reference (6th Edi- tion). Addison-Wesley Professional; 6 edition (July 31, 2013) 2013 P. 848.]

8. Khronos Group. SPIR Overview – https : / / www . khronos . org / spir/. (06.01.2018).

9. Loix T., De Breucker S., Vanassche P., Van den Keybus J., Driesen J. and Visscher K., "Layout and performance of the power electronic converter platform for the VSYNC project," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, Bucharest, 2009, pp. 1-8.

10. Бадретдинов М. Р. , Бадретдинов Т. Р. , Борщук М. С., Применение библиотеки opengl для визуализации результатов численного математ ического моделирования на сетках большой размерности. Вестник УГАТУ, 2015. № 4. 84-94

11. Richard H. Carver, Kuo-Chung Tai. Modern multithreading: implementing, testing, and debugging multithreaded Java and C++/Pthreads/Win32 programs / by Richard H. Carver and Kuo-Chung Tai.

12. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: Высшая школа, 2001.

13. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений – М.: Наука, 1987. – С.130.

14. “C++ Abstraction library for Vulkan API”, L. O. Tolo. – https://github.com/larso0/bp. (03.04.2018).

15. OpenGL programming guide : the official guide to learning OpenGL, version 4.3 / Dave Shreiner, Graham Sellers, John Kessenich, Bill Licea-Kane ; the Khronos OpenGL ARB Working Group.---Eighth edition.

16. Abraham F., Celes W. Distributed Visualization of Com- plex Black Oil Reservoir Models // Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization (2009), EGPGV 2009, Mu- nich, Germany P. 87–94. [F. Abraham, W. Celes, “Distributed Visualization of Complex Black Oil Reservoir Models”, Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualiza- tion (2009), EGPGV 2009, Munich, Germany P. 87–94.]

17. Pawel Lapinski, Vulkan Coockbook. Work through recipes to unlock the full potential of the next generation graphics API—Vulkan. Packt Publishing Ltd. Birmingham (2017).

18. Khronos Vulkan Working Group. Vulkan 1.0.98 - A Specification (with KHR extensions). 1.0.98. Jan. 2019.

19. Schlumberger. Eclipse reference manual: technical description, 2002 P. 2683. [Schlumberger. Eclipse reference manual: technical description, 2002 P. 2683.]

ЕДИНЫЙ ИНТРАНЕТ ПОРТАЛ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРЕТЕНДЕНТОВ НА ГОСУДАРСТВЕННУЮ СЛУЖБУ РК

Мухаев Д.
Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби
daryn.mukhayev@gmail.com

Аннотация. *В работе проанализированы недостатки существующей системы отбора претендентов на государственную службу РК, выявлены возможные причины сбоев системы, указаны пути их устранения. В целях оптимизации систем отбора претендентов предложено использовать преимущества технологий дистанционного обучения.*

На XV Съезде партии «Нұр-Отан» было обозначено 100 конкретных шагов по реализации пяти институциональных реформ:

- формирование профессионального государственного аппарата;
- обеспечение верховенства закона;
- индустриализация и экономический рост;
- идентичность и единство;
- формирование подотчетного государства.

Если остановиться на каждой из пяти институциональных реформ, то первое, это первоочередная задача государственных служащих в профессиональном государственном аппарате - это обслуживание населения; второе, если не будет работать система закона, то не будет и цивилизации; третье, если будет индустрия, то изменится мышление нашего народа, изменится взгляд на государство, изменится само государство; четвертое, идентичность и единство – это такие задачи, как дружба и единство всего народа Казахстана; пятое - подотчетное государство, то есть государство должно давать отчет перед гражданами данного государства [0].

Система государственной службы постоянно совершенствуется в соответствии с требованиями времени и пяти институциональных реформ. В 2016 году вступил в силу новый Закон «О государственной службе Республики Казахстан» [1]. Он направлен на обеспечение открытого конкурсного отбора, продвижение по службе на основе компетентности и уровня вознаграждения в зависимости от результатов. Прием на государственную службу начнется с низовых

должностей. Такой подход позволяет избежать условий протекционизма, покровительства в системе государственной службы. Прием на государственную службу впервые будет проходить на низовых позициях на основе конкурсного отбора [2]. Конкурс состоит из трех этапов. Первый этап является самым сложным этапом. На первом этапе кандидат проверяется на знание законодательства и компетенции. В настоящее время существует 15 законов, которые каждый кандидат должен знать, чтобы поступить на государственную службу. Предотвращение коррупции на государственной службе должно сопровождаться хороших знаний закона.

Наш портал поможет всем кандидатам получить законы и успешно завершить тестовую часть.

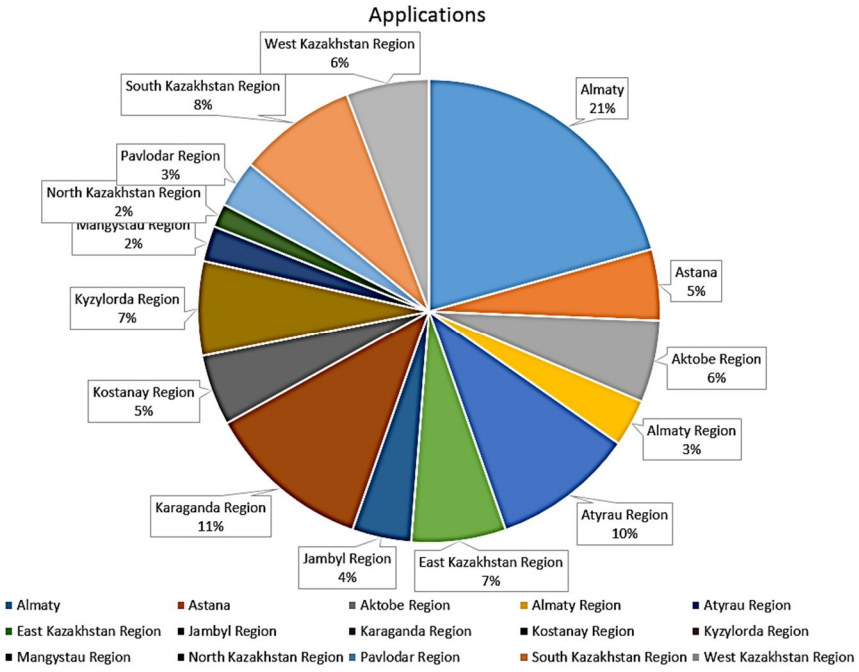


Рисунок 1. Диаграмма анализа опроса по регионам Казахстана

Впервые об открытых онлайн-курсах стало известно более десять лет назад, когда канадскими специалистами Университета Манитобы удалось запустить курс «Коннективизм и соединительные знания», который собрал более двух тысяч подписчиков. С ростом числа и популярности первых онлайн-курсов стало ясно, что это не новая модная тенденция в Интернете, а современный ответ на многие недостатки и упущения традиционной образовательной системы. Нерелевантный материал и устаревшие методы работы с информацией - главная проблема во всех учебных организациях, когда масштабные задачи пытались решить не министерства и правительства, а учителя и активисты, которые решили использовать основной метод распространения знаний в современном мире - Интернет. [3]

Архитектура является одним из первых этапов процесса разработки в создании прочной основы развития. Это позволил оценить все риски, компоненты, требования и варианты использования по системе отбора претендентов на государственную службу РК. Кроме того, был проведен весь необходимый анализ возможных решений и алгоритмов.

Перед запуском проекта по системе отбора претендентов на государственную службу РК был проанализирован рынок посредством опроса всех регионов Казахстана, который показал, что 26% клиентов были из Алматы и Астаны. Это означает, что большинство из респондентов не имеют возможности посещать курсы. Это явилось причиной создания онлайн - портала подготовки отбора претендентов на государственную службу РК. Это позволило снять ряд проблем подготовки.

Целью данной работы является разработка единого интранет-портала для поддержки претендентов на государственную службу РК. Эта технология устраняет необходимость ежедневных посещений автономных курсов, что позволит сократить финансовые затраты и сэкономить время. В ходе анализа существующих систем была выявлена необходимость разработки портала не только с тестами, но и с подготовительными курсами для государственных служб, что позволяет кандидатам повышать уровень и закреплять знания законодательства Республики Казахстан. Первая глава диссертации посвящена анализу возможные причин неудач кандидатов во время тестирования. По результатам анализа в диссертации была принята и сформулирована исследовательская задача. Вторая глава содержит описание практической части проекта. В этой главе подробно представлена клиентская часть и серверная часть приложения. Было внедрено ряд технологий, позволяющих общаться с преподавателями курсов с помощью текстовых сообщений и видеосвязи. Система тестирования, разработанная в рамках диссертации, по структуре идентична системе государственного применения. В заключительной части приведен расчет экономической эффективности диссертации, который показал положительный результат. Кроме этого, создаваемый портал (Интранет-портал) для поддержки подготовки клиентов, допущенных к конкурсу на государственную службу РК, эффективен в силу востребованности гражданами страны [4].

Заключение

В работе изложены основные принципы, лежащие в основе информационной системы подготовки лиц, допущенных к отбору на государственную службу РК.

В этой работе проведен анализ недостатков существующей системы и внедрены все новейшие технологии дистанционного обучения. Были выявлены возможные причины сбоев государственных испытаний и указаны пути их устранения.

Портал создан на одном из популярных фреймворков, причины выбора которого были обоснованы. В дальнейшем любой программист сможет работать с этим порталом, благодаря тому, что для создания портала был использован Model View Controller.

Использование портала дает возможность каждому кандидату подготовиться к поступлению на государственную службу, находясь вне центров тестирования

претендентов, тем самым значительно повысить эффективность процедур отбора претендентов.

Литература

1. http://infozakon.kz/gov/2917-plan-nacii-100-konkretnyh-shagov-globalnaya-reforma.html
2. "Что нужно знать о новом законе," KyzmetToday.kz, [Online]. Available: http://www.kyzmettoday.kz/dissovet/item/647-chto-nuzhno-znat-o-novom-zakone-o-gosudarstvennoj-sluzhbe-respubliki-kazakhstan . [Accessed 06 January 2016].
3. Tengrinews.kz, "Политическая элита Казахстана: Отбор в корпус "А" провалили большинство кандидатов," 5 October 2017. [Online]. Available: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/politicheskaya-elita-kazahstana-otbor-korpus-a-provalili-328010/. [Accessed 5 October 2017].
4. S. Norman, "5 Advantages Of Online Learning: Education Without Leaving Home," [Online]. Available: https://elearningindustry.com/5-advantages-of-online-learning-education-without-leaving-home . [Accessed 10 March 2016].
5. C. Thompson, "How Khan Academy Is Changing the Rules of Education," [Online]. Available: https://www.wired.com/2011/07/ff_khan/. [Accessed 07 November 2015].

ТЕХНОЛОГИЯ LORA В СЕТИ IOT/ M2M

Мухамеджанова А.Д., Туманбаева К.Х.
e-mail: almira_md@mail.ru
НАО «Алматинский университет энергетики и связи», Казахстан

Аннотация. *В Казахстане при строительстве сети IoT/M2M используется система радиодоступа LoRaWAN. В работе рассмотрены преимущества технологии LoRa перед другими системами радиодоступа для обслуживания M2M устройств, выполнен анализ реального трафика, поступающего от узлов на шлюз M2M сети.*

Ключевые слова: *технология LoRa, Интернет вещей, сеть IoT/M2M, M2M устройства, шлюз, трафик, статистический анализ.*

Статистика Интернета вещей (Internet of Things, IoT) показывает, что в настоящее время во всем мире используется около 6,4 млрд. устройств IoT. К 2020 году их число может достичь 20,8 млрд. Большая доля приложений IoT/M2M будет использовать для доступа в интернет радиотехнологии малого радиуса действия, например, Zigbee, Wi-Fi и Bluetooth [1]. Большинство устройств будут работать от батареи. В связи с этим одной из важных характеристик интернета вещей является непрерывная работа устройства без дополнительного обслуживания и зарядки. Для эффективного решения задач, связанных с энергетикой, были внедрены новые сети

LPWAN (Low Power Wide Area Networks). Группу технологий, основанных на подключении приложений IoT/M2M к узкополосной сети связи, которая имеет низкую мощность излучения и зону действия с радиусом действия до нескольких километров, обозначается LPWAN.

Технологии, позволяющие подключать автономные устройства к глобальной сети, появились в 2015–2016 гг. и постепенно набирают популярность [2]. Наиболее популярными среди этих технологий являются LoRa, SIGFOX, NB-IoT, Weightless P. Их появление связано с необходимостью подключения к различным измерительным и телеметрическим системам для централизованного сбора данных на облачных серверах.

Технология LoRa WAN (Long Range Wide Area Networks), представленная в 2015 году компанией Semtech и исследовательским центром IBM Research [3]. Для её поддержки, развития и стандартизации был создан альянс LoRa (LoRa Alliance), который в настоящее время стремительно развивается, о чём свидетельствует постоянное увеличение числа зарегистрированных членов. В альянс вошли известные производители электроники: Cisco, IBM, Kerlink, IMST, Semtech, Microchip Technology, и ведущие телекоммуникационные операторы (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom).

Разработчики LoRa Alliance считают, что технология LoRa имеет значительные преимущества перед WiFi и сотовыми сетями, благодаря возможности развертывания межмашинных соединений (Machine-to-Machine, M2M) на расстояние до 20 км со скоростью до 50 Кбит/с, а также обладает минимальным энергопотреблением, обеспечивая несколько лет автономной работы на одной батарее AA. Масштаб применений этой технологии велик: от домашней автоматизации и интернета вещей до промышленности и умных городов [2].

LoRa – это следующий шаг в разработке решений LPWAN. Суть технологии сводится к вариации линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum, CSS). Технология использует кодирование данных широкополосными импульсами с частотами, которые уменьшаются или увеличиваются в течение определенного интервала времени. Такое решение позволяет приёмнику быть устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к тактовому генератору, тем самым позволяя использовать недорогие кварцевые резонаторы.

Система использует прямую коррекцию ошибок (Forward Error Correction, FEC) и работает в субгигагерцовом диапазоне частот: 169, 433 и 915 МГц в США, а в Европе – в диапазоне 868 МГц. Наиболее распространенными рабочими частотами являются 868 и 915 МГц. Также, вследствие высокого уровня внешнего воздействия, рабочий диапазон 2,4 МГц ограничен [2]. Согласно спецификации, LoRa использует циклически единственный вариант передачи, который ограничивает скорость создания сообщений. Однако, поддерживая несколько каналов, LoRa позволяет конечным узлам участвовать в процедурах обмена данными, изменяя несущую частоту при соблюдении беспошлинного предела цикла в каждом канале. Выбор скорости передачи данных является компромиссом между зоной покрытия и объемом данных, сообщения с разными скоростями передачи данных не мешают друг другу. Скорость передачи данных LoRa составляет от 0,3 до 50 Кбит/с. Чтобы максимально увеличить время автономной работы конечных устройств и общую

пропускную способность сети, сетевая инфраструктура LoRa может управлять скоростью передачи данных для каждого устройства индивидуально с помощью адаптивной скорости передачи данных. В то время как реализация LoRa является закрытой, остальная часть стека протоколов, известная как LoRaWAN, остается открытой, и ее разработкой занимается LoRa Alliance, во главе с IBM. Отличительной особенностью сети LoRa является то, что она предоставляет три класса устройств, для решения различных задач и применений в сети.

Технология LoRa основывается на двух главных элементах:

- радиоинтерфейсе физического уровня, который определяет все аспекты передачи радиосигналов между шлюзами сети LoRa и оконечными устройствами. Радиоинтерфейс LoRa устанавливает рабочие частоты, типы модуляции, уровни мощности, сигнализацию и обмен сигналами между передатчиками и приемниками в сети LoRa;

- сетевой архитектуре, которая включает абонентские устройства IoT/M2M, шлюзы LoRa (базовые станции), сетевые серверы, подключенные к Интернету через транспортную сеть, и серверы приложений (рисунок 1).

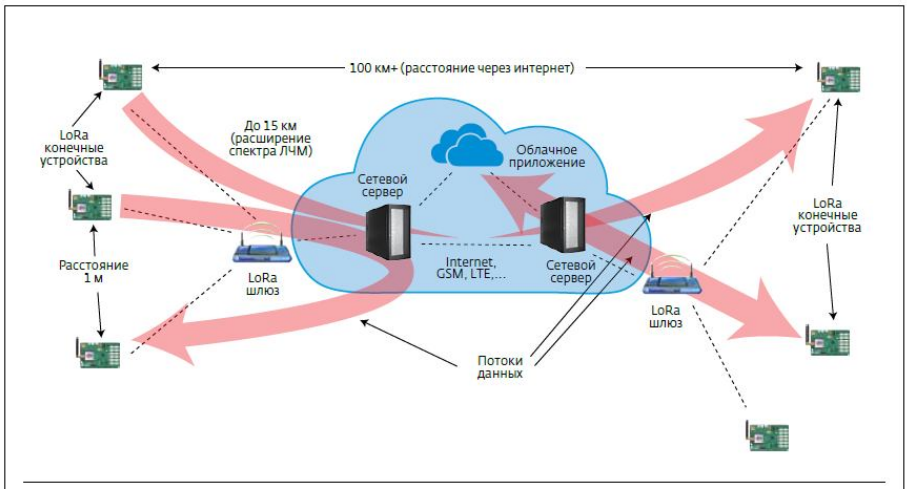


Рис.1. Сетевая архитектура LoRa

В сетях LoRaWAN узлы не связаны с определенным шлюзом. Вместо этого данные, отправленные узлом, обычно принимаются несколькими шлюзами. Каждый шлюз пересылает, принятый пакет с конечного узла на сетевой сервер через сеть Интернет. Транзитным каналом могут быть сети сотовых операторов, MetroEthernet, спутниковые сети или Wi-Fi. Интеллект и сложность передаются на сетевой сервер, который управляет сетью и фильтрует избыточные принятые пакеты, выполняет проверку безопасности, планирует подтверждения через оптимальный шлюз и определяет адаптивную скорость передачи данных. Если узел является мобильным или перемещается, нет необходимости передавать службу от шлюза к шлюзу, что является наиболее сложной функцией, которая позволяет приложениям непрерывно работать с мобильными устройствами IoT.

Чтобы сделать сеть дальнего действия жизнеспособной, шлюз должен иметь очень высокую пропускную способность или возможность получать сообщения от очень большого числа узлов. Высокая пропускная способность сети LoRaWAN достигается за счет использования адаптивной скорости передачи данных и использования многоканального приемопередатчика в шлюзе, что позволяет осуществлять одновременную связь по нескольким каналам. Критическими факторами, влияющими на пропускную способность, являются количество каналов, поддерживаемых одновременно, скорость передачи данных (время в эфире), длина пакета и частота передачи узлов. Поскольку LoRa является ШИМ модуляцией, сигналы практически ортогональны друг к другу при использовании различных коэффициентов модуляции. По мере изменения коэффициента модуляции изменяется и эффективная скорость передачи данных. Шлюз использует это свойство, имея возможность принимать несколько различных скоростей передачи данных одновременно на одном канале. Если узел имеет хорошую связь и находится близко к шлюзу, нет никаких причин для того, чтобы он всегда использовал самую низкую скорость передачи данных и заполнял доступный спектр дольше, чем это необходимо. По мере увеличении скорости передачи данных, время работы уменьшается, открывая больше потенциального пространства для передачи данных другими узлами. Адаптивная скорость передачи данных также оптимизирует время автономной работы узла. Для обеспечения адаптивной скорости передачи данных требуется симметричный канал для приема и передачи с достаточной пропускной способностью. Эти функции позволяют сети LoRaWAN иметь очень высокую пропускную способность, чтобы сделать сеть масштабируемой.

Сеть LoRaWAN может быть развернута с минимальной инфраструктурой, а по мере необходимости может быть легко масштабирована путем добавления большего количества шлюзов, переключение скоростей передачи данных, сокращения времени работы в эфире для других шлюзов и масштабирование емкости сети в 6-8 раз.

Абонентские устройства IoT / M2M сети LoRa обычно являются датчиками или сенсорами, которые передают данные только через короткие промежутки времени по заданному графику и делятся на три класса (рисунок 2). Каждый класс имеет свои особенности, определяемые целью [4]:

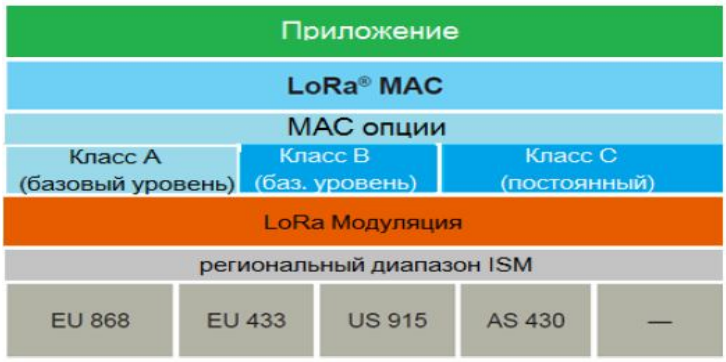


Рис. 2. Классы устройств в сетях LoRa

- двунаправленные конечные устройства класса А. Эти устройства позволяют выполнять двунаправленный обмен. Соединение инициирует конечное устройство, после чего оно выделяет два временных окна, в течение которых ожидается ответ от сервера. Интервал передачи планируется конечным устройством на основе собственных потребностей. Устройства класса А имеют наименьшее энергопотребление и используются в приложениях, где передача данных от сервера требуется только после того, как конечное устройство отправляет на него данные. Передача данных от сервера к конечному узлу возможна только после того как, последний выйдет на связь;

- двунаправленные конечные устройства класса Б. Эти устройства в плюс к функциям устройств класса А открывают дополнительное окно приема по расписанию. Для того чтобы открыть окно приема, они синхронизируются специальным опорным сигналом от шлюза (beacon). Это позволяет серверу определить момент времени, когда конечное устройство готово к приему данных;

- двунаправленные конечные устройства класса С с максимальным приемным окном. Эти устройства имеют почти непрерывно открытое окно приема, которое закрывается только на время передачи данных. Этот тип конечного устройства подходит для задач, в которых требуется извлечь большие объемы данных [1].

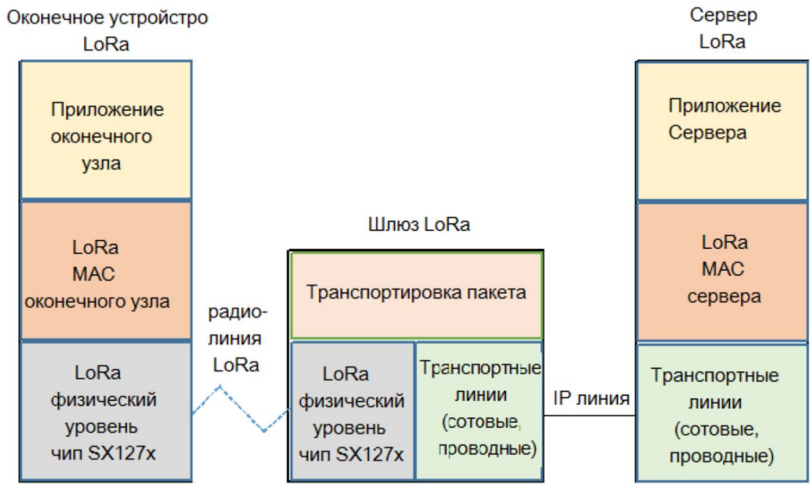


Рис. 3. Архитектура открытого протокола LoRaWAN

Шлюзы передают сообщения между конечными устройствами и сервером используя архитектуру протокола, показанную на рисунке 3. Шлюзы действуют как своего рода ретрансляторов/мостов и просто пересылают на связанным с ними NetServer все, успешно декодированные сообщения, отправленные любым конечным устройством, после добавления некоторой информации относительно качества приема. Таким образом, NetServer отвечает за фильтрацию дубликатов и нежелательных пакетов. Шлюзы, полностью прозрачны для конечных устройств, которые непосредственно логически присоединены к NetServer. Важно, что текущий полноценный LoRa шлюз обеспечивает параллельную обработку до 9 каналов LoRa,

где канал идентифицируется по определенному поддиапазону и коэффициентом расширения [2].

Этот режим значительно упрощает управление доступом к сети для конечных узлов. Кроме того, конечные узлы могут свободно перемещаться через ячейки сети, обслуживаемые различными шлюзами, без создания дополнительного сигнального трафика в сети доступа. Наконец, увеличивается количество шлюзов, обслуживающих определенные конечные устройства, что повышает надежность соединения с Netserver.

В Казахстане сеть LoRaWAN строит крупнейшая телекоммуникационная компания «Казахтелеком», имеющая статус национального оператора.

На первом этапе организовано покрытие сигналом LoRaWAN крупнейших городов страны: Алматы, Астана, Шымкент. Установлено около ста базовых станций. Оборудование и программное обеспечение были разработаны и произведены казахстанской компанией «Орион Система».

Руководство «Казахтелекома» отмечает, что претендентами при выборе технологии для строительства сети были две технологии LoRaWAN и NB-IoT. В пользу технологии LoRaWAN сыграли доступность технологии, более низкая стоимость устройств и чипсетов, использование нелицензионного диапазона частот [5].

В настоящее время в городах Алматы, Астана и Шымкент сети LoRaWAN обеспечивают дистанционный сбор показаний различных приборов учета. В будущем «Казахтелеком» планирует установить подключенные датчики на парковках для отслеживания свободных мест, на системах уличного освещения для экономии электроэнергии в муниципалитетах, отслеживать уровень воды в реках, положение канализационных люков. Технология LoRaWAN может обеспечить решение многих задач для концепции «умный город» и внести существенный вклад в реализацию программы «Цифровой Казахстан».

Были собраны данные о реальном M2M трафике, поступающем от узлов на шлюз телекоммуникационной компании в г. Алматы. Трафик измеряется в бит/с. Сбор данных проводился в течение 12 часов каждые 15 минут (рисунок 4).

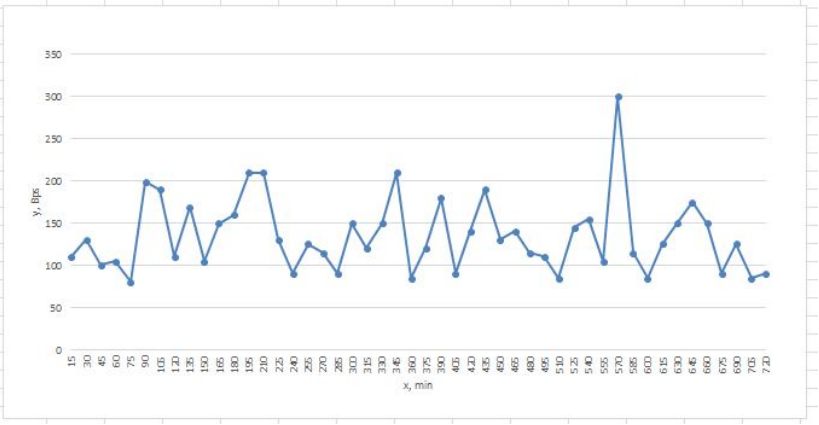
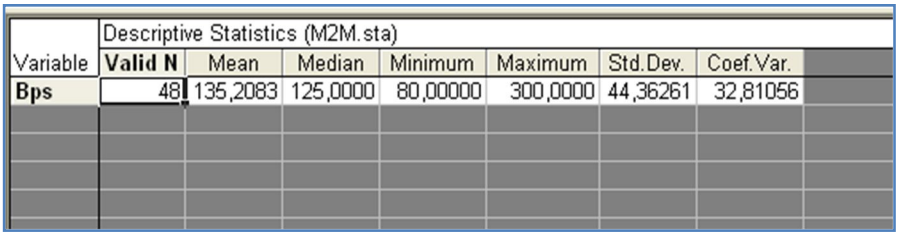


Рис. 4. Динамика трафика M2M

Статистическая обработка полученных данных осуществлена в системе STATISTICA.

Рассчитанные статистические характеристики анализируемых данных приведены на рисунке 5.



Descriptive Statistics (M2M.sta)

Variable	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
Bps	48	135,2083	125,0000	80,00000	300,0000	44,36261	32,81056

Рис. 5. Descriptive Statistics

Математическое ожидание данных в исследуемой выборке (MEAN) составило 135,21 Bps, т.е. в среднем такой объем трафика поступал за 15 минут. Медиана (Median) показывает, что в половине исследуемых 15-ти минутных периодов размер трафика не превышал 125 Bps, а во второй половине был выше этого значения. Минимальное (Minimum) и максимальное (Maximum) значения трафика составили соответственно 80 Bps и 300 Bps. Стандартное отклонение (Std.Dev.) равно 44,36 Bps, коэффициент вариации (Coef.Var.) составил 32,81%, что свидетельствует о существенном разбросе данных статистической совокупности относительно математического ожидания [6].

Для определения степени самоподобия реального M2M трафика вычислен параметр Херста H методом R / S статистики, значение H = 0, 47. Поскольку выполняется условие $0 < H < 0,5$, мы не можем утверждать, что измеренный реальный трафик на данном диапазоне является самоподобным.

Применение математического аппарата, позволяющего на основе имеющейся статистической информации осуществить анализ трафика, направлено на эффективное использование имеющихся ресурсов и повышение качества обслуживания.

Литература

1. Тихвинский В., Коваль В., Бочечка Г. Технология Lora: перспективы внедрения на сетях IoT, //Первая миля, - 2016, - №6, - с. 43-49.

2. Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В. Обзор и сравнительный анализ технолигий LPWAN сетей. //Информационные технологии и телекоммуникации, - 2016, - №4, - с. 33-48.

3. ETSI TS 102 689. V.1.1.1. Machine – to - Machine Communications (M2M); M2M Service Requirements. Aug. - 2010. – 34 p.

4. LoRaWAN™ Specification, LoRa Aliance, Version: V1.0, 2015 January. https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawanr-specification-v11

5. http://orion-m2m.com/ru/

6. Лещинская Э.М., Туманбаева К.Х. Моделирование в телекоммуникациях. Применение пакета STATISTICA при моделировании телекоммуникационных систем. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2018. 80 стр.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ OLAP

Сарсимбаева С.М., Бисенкул А.С.
e-mail: sarsi@mail.ru
Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Казахстан

Аннотация. *В статье рассмотрены проблемы разработки информационных систем для многомерного анализа данных на основе технологии OLAP. Выявлена и обоснована необходимость использования программного обеспечения Microsoft Analysis Services, инструмента семейства Business Intelligence, входящий в состав Microsoft SQL Server, позволяющий разрабатывать гибридные системы для проведения многомерного анализа данных. Рассмотрены системы хранения данных, архитектура OLAP и определены типы бизнес-структур, которые существенно выигрывают от применения возможностей OLAP. На основе проведенного исследования авторами разработано программное обеспечение с использованием MS Analysis Services - система многомерного анализа на основе OLAP технологии с целью унификации процесса управления торговой сетью, оптимизации процесса работы работников розничной сети. Разработанное приложение позволяет оптимизировать работу менеджеров, бизнес-аналитиков компании сети магазинов бытовой и электронной техники по закупке товаров на основе многомерного анализа проданных товаров в определенный период.*

На сегодняшний день разработано множество продуктов, реализующих технологию оперативной аналитической обработки данных OLAP (OnLine Analytical Processing). В свою очередь, существуют разнообразные модели OLAP, число которых с каждым годом увеличивается. Модели OLAP обретают свойства, изменяющие их особенности, достоинства и недостатки. По архитектуре OLAP-системы делятся на реляционный OLAP - ROLAP, многомерный OLAP – MOLAP и гибридный OLAP – HOLAP. Эти системы едины как OLAP-системы на основе извлечения данных из многомерных построений, но с другой стороны, различны по функциональным особенностям [1]. В зависимости от особенностей архитектуры этих систем делается выбор при разработке OLAP-системы.

Гибридные OLAP системы – это информационные системы, в которых сочетаются черты ROLAP и MOLAP архитектур, отсюда и название – гибридный. В моделях HOLAP используются преимущества и минимизируются недостатки обеих архитектур [3,5-8]. В HOLAP-системах структура куба и предварительно

обработанные агрегаты хранятся в многомерной базе данных. Это позволяет обеспечить быстрое извлечение агрегатов из структур MOLAP. Значения нижнего уровня иерархии в HOLAP остаются в реляционной витрине данных, которая служит источником данных для куба. HOLAP не требует копирования листовых данных из витрины, хотя это и ведет к увеличению времени доступа при обращении к листовым данным. Данные в витрине доступны аналитику сразу после обновления. Таким образом, HOLAP-системы не вносят запаздывания в работу с данными нижнего уровня иерархии. По сути, HOLAP жертвует скоростью доступа к листовым данным ради устранения запаздывания при работе с ними и ускорения загрузки данных. В связи с этим HOLAP проигрывает по скорости MOLAP. К достоинствам подхода можно отнести комбинирование технологии ROLAP для разреженных данных и MOLAP для плотных областей, а к недостаткам – необходимость поддерживания MOLAP и ROLAP.

Для разработки автоматизированных информационных систем для OLAP анализа можно использовать Microsoft Analysis Services на основе которого построена информационная система предложенной работы.

Существует множество средств для проведения многомерного анализа данных, но большинство из них не способны предоставить разработчикам инструменты для решения подавляющего большинства стоящих перед ним задач. При разработке приложения для многомерного анализа данных, необходимо было из всех современных технологий, выбрать наиболее подходящие для выполнения поставленных задач. Мы остановились на гибридной схеме архитектуры приложения – HOLAP, которая позволяет использовать реляционные таблицы для хранения базовых данных и многомерные таблицы для агрегатов.

При использовании такой архитектуры речь не идет о противопоставлении или взаимной конкуренции реляционного и многомерного подходов. Правильнее сказать, что эти два подхода взаимно дополняют друг друга. Как отметил Э. Кодд [1], реляционный подход никогда не предназначался для решения на его основе задач, требующих синтеза, анализа и консолидации данных. И изначально предполагалось, что такого рода функции должны реализовываться с помощью внешних по отношению к реляционным СУБД, инструментальных средств. Именно на решение таких задач и ориентированы многомерные СУБД. Область, где они наиболее эффективны, это хранение и обработка высоко агрегированных и стабильных во времени данных. И их применение оправдано только при выполнении двух требований. Уровень агрегации данных в базе данных достаточно высок, и, соответственно, объем баз данных не очень велик, не более нескольких гигабайт. В качестве граней гиперкуба выбраны достаточно стабильные во времени Измерения, с точки зрения неизменности их взаимосвязей, и, соответственно, число несуществующих значений в ячейках гиперкуба относительно невелико. Поэтому сегодня использование гибридной архитектуры для организации многомерного анализа данных на основе OLAP технологии все чаще используется как аналитические средства переднего плана.

Разработка информационной системы

Одной из ведущих видов программного обеспечения по использованию Business Intelligence является Microsoft Analysis Services, входящий в состав Microsoft SQL Server[3,4,6,7]. Службы Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS) позволяют анализировать большие объемы данных. С их помощью можно проектировать, создавать и управлять многомерными структурами, которые содержат подробные статистические данные из нескольких источников данных. Для управления кубами OLAP и работы с ними используется среда SQL Server Management Studio. Для создания новых кубов OLAP используется среда Business Intelligence Development Studio. Экземпляр служб SSAS может содержать несколько баз данных, а в базе данных могут одновременно присутствовать объекты OLAP и объекты интеллектуального анализа данных

На основе данной технологии разработано приложение для анализа данных магазина бытовой техники. Для разработки были использованы инструментальные средства Microsoft SQL Server 2012, Visual Studio 2012.

Основной задачей компонентов интеллектуальной обработки данных в SQL Server 2012 является поддержка разработки и использования систем интеллектуальной обработки данных на предприятиях любого размера и всеми сотрудниками - не только менеджерами и аналитиками, но и руководителями оперативных подразделений и партнерами. Для выполнения этой задачи в SQL Server 2012 создана полноценная, интегрированная, легкая в использовании система, которая публикует данные в виде веб-служб, обеспечивает высокую производительность на обычном аппаратном обеспечении и содержит множество возможностей, которые можно использовать для разработки инновационных аналитических приложений. В SQL Server 2012 входит компонент SQL Server Business Intelligence Dev Studio. Business Intelligence Dev Studio - это интегрированная среда разработки, созданная для разработчиков систем интеллектуальной обработки данных. Основанная на Visual Studio, Business Intelligence Dev Studio представляет собой мощную, интегрированную, профессиональную платформу разработки для разработчиков систем интеллектуальной обработки данных. Отладка, контроль исходного кода, разработка скриптов и кода доступны во всех компонентах приложения интеллектуальной обработки данных.

Перечисленный набор служб в SQL Server, связанные с бизнес-анализом и хранением данных называется Microsoft Analysis Services. Эти службы включают в себя службы интеграции - Integration Services и службы анализа - Analysis Services. Analysis Services, в свою очередь, включают в себя набор средств для работы с OLAP и интеллектуальным анализом данных. Главным компонентом Analysis Services является Business Intelligence Development Studio - инструмент управления, который предоставляет единую платформу разработки для Integration Services, извлечения данных Reporting Services и Analysis Services. Созданный в Visual Studio, Business Intelligence Development Studio поддерживает интегрированную платформу разработки для системных разработчиков в области бизнес-аналитики. Средства отладки, управление источниками данных и разработка кода доступны во всех компонентах приложения бизнес-аналитики. Использование

Business Intelligence Development Studio позволяет создавать и управлять многомерными кубами.

К примеру, в магазинах бытовой техники ведется постоянная работа по формированию информационной картины, используется база данных по приходу и реализации каждого отдельно взятого товара. Существует множество видов анализируемой информации, важнейшими из которых являются: данные об итогах и масштабах продаж конкретного товара определенного производителя.

Учитывая набор перечисленных выше требований, было принято решение о разработке системы на принципах технологий семейства Business Intelligence - средств анализа и обработки данных масштаба определенной торговой сети, которая позволит эффективно решать широкий круг задач обработки информации и управления. Указанные возможности реализуются за счет использования методов и средств построения хранилищ данных, OLAP-технологий[5].

Разработка приложения по многомерному анализу данных по продажам бытовой и электронной техники позволило облегчить работу менеджеров, аналитиков компании по закупке товаров на основе анализа проданных товаров в определенный период. (Рис. 1).

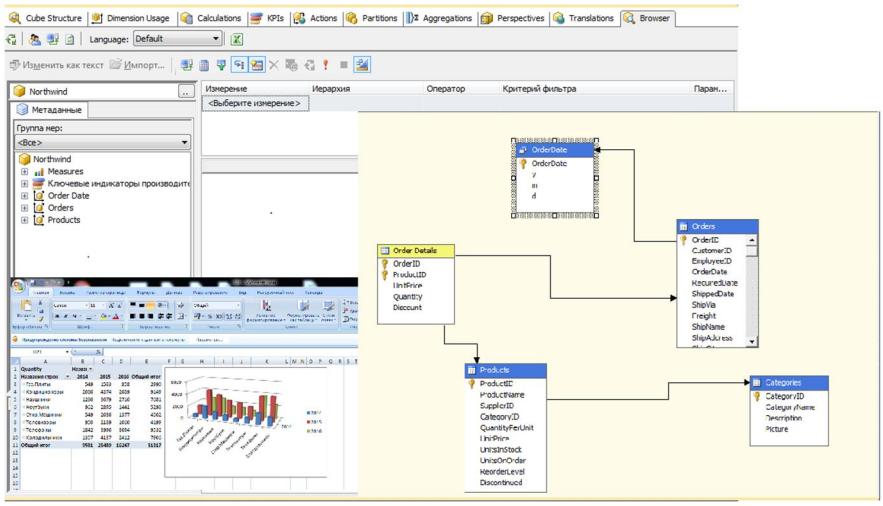


Рис. 1. Многомерный куб и его виды через браузеры Visual Studio и MS Excel

Разработанная авторами информационная OLAP система для многомерного анализа позволяет унифицировать процесс управления торговой сетью, оптимизировать процесс работы менеджеров, бизнес-аналитиков розничной сети. Решена задача внедрения системы Business intelligence в розничные сети бытовой и электронной техники для многомерного анализа данных по продажам.

На основе разработанного приложения был проведен анализ продаж сети магазинов бытовой и электронной техники по городу Актобе. Исходя из данных многомерного куба можем наблюдать, что наибольшей популярностью среди покупателей в 2016 году в категории кондиционеров лидерами продаж являются бренды Midea и Elenberg. (Рис. 2.)

Названия строк	2014	2015	2016	Общий итог
Газ.Плиты	549	1583	858	2990
Кондиционеры	2086	4374	2689	9149
Кондиционеры Midea	370	665	542	1577
Кондиционеры Elenberg	231	752	513	1496
Кондиционеры LG	261	454	342	1057
Кондиционеры Samsung	444	656	297	1397
Кондиционеры Electrolux	110	374	222	706
Кондиционеры Beko	197	356	202	755
Кондиционеры Vestel	260	353	193	806
Кондиционеры bosch	52	98	147	297
Кондиционеры Panasonic	149	430	135	714
Кондиционеры Daikin	12	236	96	344
Наушники	1286	3679	2716	7681
Ноутбуки	962	2895	1441	5298
Стир.Машинки	549	2636	1377	4562
Телевизоры	950	2189	1060	4199
Телефоны	1842	3996	3694	9532
Холодильники	1357	4137	2412	7906
Общий итог	9581	25489	16247	51317

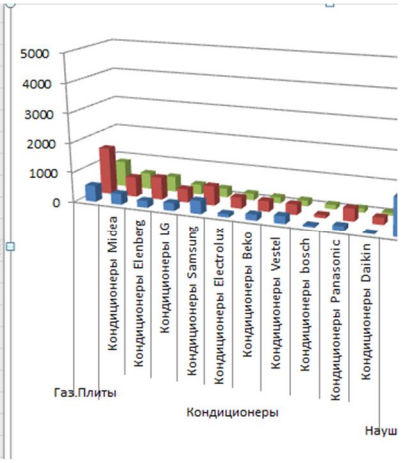


Рис. 2. Анализ продаж кондиционеров по годам

При детальном анализе можно увидеть, что в последний месяц кондиционеры Elenberg опережают по продажам кондиционеры Midea. Исходя из этих данных при заказе товаров нужно сделать акцент на заказ кондиционеров Elengerg. (Рис. 3).

Такой анализ был проведен по товарам ноутбуки, газовые плиты, наушники и другим.

	2	2016				
Названия строк		1	2	3	4	5
Кондиционеры	##	622	446	581	1005	35
Кондиционеры Midea	##	156	100	110	174	2
Кондиционеры Elenberg	##	147	40	4	322	
Кондиционеры LG	##	55	55	35	197	
Кондиционеры Samsung	##	74	35	153	15	20
Кондиционеры Electrolux	##	60	90	52	10	10
Кондиционеры Beko	##	55	70	22	55	
Кондиционеры Vestel	##	55		101	37	
Кондиционеры bosch	52	20	6	35	85	1
Кондиционеры Panasonic	##		50	19	66	
Кондиционеры Daikin	12			50	44	2
Наушники	##	735	564	669	630	118
Ноутбуки	##	269	289	378	446	59
Стир.Машинки	##	544	211	189	297	136
Телевизоры	##	133	302	92	405	128
Телефоны	##	622	834	925	1092	221
Холодильники	##	483	432	880	438	179
Общий итог	##	3466	3115	4065	4680	921

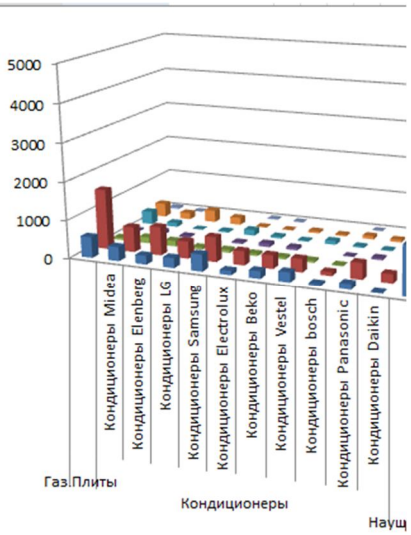


Рис. 3. Анализ продаж кондиционеров по месяцам

Выводы

Актуальность OLAP-технологий обусловлена их практической значимостью для анализа больших объемов данных. В связи с этим имеется проблема построения информационных систем: выбор оптимальных схем хранения и обработки OLAP данных. В работе исследованы вопросы использования Microsoft Analysis Services для разработки информационных OLAP систем многомерного анализа данных и

применения этой технологии для многомерного OLAP анализа продаж. Разработана и изучены возможности гибридной архитектуры системы, которая позволяет использовать реляционные таблицы для хранения данных и многомерные таблицы для агрегатов с целью проведения многомерного анализа с использованием OLAP технологии. Рассмотрены внутренние интерфейсы Microsoft Analysis Services, а также основные положения технологии бизнес интеллекта в Visual Studio. Разработанная гибридная система управления базами данных для многомерного анализа данных в сфере продаж розничной сети бытовой и электронной техники, увеличивает эффективность работы менеджеров, аналитиков компании.

Литература

1. Codd E. F., Codd S. B., Salley C. T. Providing OLAP to User-Analysts: An IT Mandate. – Jena: Arbor Software Corp. Papers, 1996.– 24 p.
2. Paulraj Ponniah. Data Warehousing Fundamentals for IT Professionals. – New York // Chichester / Weinheim / Brisbane / Singapore / Toronto: John Wiley & Sons, Inc., 2011. – 518 p.
3. Vincent Rainardi. Building a Data Warehouse: With Examples in SQL Server 2nd. – CA: Apress Berkeley, 2014. – 540 p.
4. Д.Сарка, М. Лах, Г. Йеркич Microsoft® SQL Server® 2012. Реализация хранилищ данных: учебный курс Microsoft: пер. с англ. – М.: Издательство «Русская редакция», 2014. – 792 p.
5. Robert Wrembel, Christian Koncilia. Data warehouses and OLAP: concepts, architectures, and solutions // IRM Press. – 2007. – P. 1-26.
6. Celko Joe. Analytics and OLAP in SQL. Morgan Kaufmann, 2006. – 208 p.
7. Ларсон Б. Разработка бизнес-аналитики в Microsoft SQL Server 2005. – СПб.: Питер, 2008. – 684 с.
8. T.S. Jung, M.S. Ahn, W.S. Cho. An Efficient OLAP Query Processing Technique Using Measure Attribute Indexes // WISE. – 2004. – P. 218-228.
9. Rob Mattison. Web Warehousing and Knowledge Management. Mcgraw-Hill, 1999. – 576 p.

ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АКАДЕМГОРОДКА ГОРОДА АЛМАТЫ

Темирбеков Н.М.[1], Байгереев Д.Р.[2], Темирбеков А.Н.[3], Омиржанова Б.Б.[4]
e-mail: temirbekov@rambler.ru

[1]Казахстанский инженерно-технологический университет, Казахстан
[2]Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова
[3]Казахский национальный университет им. аль-Фараби
[4]Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности

Аннотация. *В данной работе приведено описание подсистем интегрированной распределенной информационной системы Академгородка города Алматы и реализация их интеграции. Интеграция веб-портала с репозиторием цифровых объектов и системой управления текущей научно-исследовательской информацией осуществлена с использованием API-интерфейса REST DSpace и разработанных программных модулей. В работе приведены примеры отображения информации и «прозрачного» поиска, полученных в результате интеграции подсистем.*

Научно-исследовательские институты, расположенные в Академгородке города Алматы, на протяжении многих десятилетий активно занимаются инновационными исследованиями в ведущих направлениях агротехнической, перерабатывающей, микробиологической, сейсмологической и других отраслей. Результаты их интеллектуальной работы публикуются в виде статей, монографий и технических отчетов. Немалую прикладную и историческую ценность имеют также результаты научных исследований данных институтов, полученных более полувека назад и хранящихся в архивах библиотек. Однако данные результаты остаются недоступными широкому кругу людей в связи с отсутствием их цифровых копий и единого хранилища для их долгосрочного хранения.

В этой связи коллективом ученых Казахстанского инженерно-технологического университета и ТОО "Академсеть" создана интегрированная распределенная информационная система для обеспечения надежного хранения результатов оцифрованной интеллектуальной творческой деятельности сотрудников научно-исследовательских институтов, для управления текущей исследовательской информацией, внешней и внутренней интеграции информационных ресурсов, обеспечения единого пользовательского интерфейса для всех функций и модулей информационной системы, обеспечения «прозрачного» поиска и доступа пользователей к документам.

В работе [1] определены требования к данной интегрированной распределенной информационной системе и описана модель ее функционирования. В работе [2] приведено описание программной части архитектуры информационной системы, которая состоит из следующих четырех подсистем.

1. Подсистема” Репозиторий цифровых объектов”, предназначенная для долгосрочного хранения результатов научной деятельности научно-исследовательских институтов с возможностью поиска информационных ресурсов по метаданным, полнотекстового поиска и ведения статистики. В качестве программного обеспечения, лежащего в основе данной подсистемы, выбрано открытое, свободное J2EE приложение DSpace [3]. Данное приложение является

одним из наиболее популярных платформ для создания институциональных репозиториев, включающим в себя управление исследовательскими материалами и публикациями, обеспечение надежной системы хранения и доступности материалов в сети Интернет [4].

2. Подсистема управления текущей научно-исследовательской информацией [5,6], предназначенная для хранения информации о научно-исследовательских институтах, их сотрудниках, а также информации об их научной деятельности. В качестве системы управления научными исследованиями было выбрано свободное расширение системы DSpace – DSpace-CRIS [7]. Система позволяет хранить информацию о научно-исследовательских организациях, их научных направлениях и научных достижениях, информацию о сотрудниках, различного написания имени сотрудников, в том числе на разных языках, ссылки на профили в различных базах данных (Scopus, Researcher ID, ORCID), информацию о научной деятельности (участие в финансируемых проектах, конференциях, прохождение стажировок) и другую информацию.

3. Подсистема интеграции распределенных информационных ресурсов, предназначенная для импорта метаданных из внешних источников, а также для предоставления метаданных внутренним ресурсам (порталу Академгородка) на основе стандартных протоколов.

4. Подсистема доступа к распределенным информационным ресурсам на основе веб-технологий (веб-портал), предназначенная для предоставления стандартизированного единого пользовательского интерфейса для всех функций и модулей, входящих в состав распределенной информационной системы.

Цель настоящей работы состоит в описании реализации интеграции веб-портала Академгородка с репозиторием цифровых объектов и системой управления текущей научно-исследовательской информацией.

Веб-портал предназначен для обеспечения удаленного доступа к информационным ресурсам и услугам. Подсистема объединяет процессы предоставления доступа к информационным ресурсам всем заинтересованным субъектам взаимодействия. Представление услуг предполагает:

– доступ к информации о проекте и нормативным правовым и методическим материалам;

– идентификацию, аутентификацию и авторизацию пользователей;

– предоставление основной информации о научно-исследовательских институтах, их сотрудниках;

– предоставление информации о последних достижениях научно-исследовательских институтов, о предстоящих событиях, конференциях;

– произведение поиска по репозиторию цифровых объектов;

– наличие фото- и видеогалереи;

– управление запросами по поиску авторов, названию публикаций;

– управление запросами по полнотекстовому поиску по ресурсам;

– предоставление различных отчетностей и экспорт данных в различные форматы.

Для осуществления поиска по хранилищу цифровых объектов веб-портал интегрирован с DSpace с использованием API-интерфейса REST DSpace [8],

который обеспечивает программный интерфейс для сообществ, коллекций, метаданных элементов и файлов. DSpace REST API развернуто как стандартное веб-приложение. В DSpace создан непривилегированный пользователь, от имени которого производится поиск. Запросы в DSpace REST производятся с помощью утилиты curl. Ответы возвращаются в формате JSON, парсинг которых производится в разработанном программном модуле.

В настоящее время результат интеграции DSpace, DSpace-CRIS и портала Академгородка прослеживается на следующих страницах веб-портала:

1. Поиск ресурсов по названию ресурса или его авторов. Реализована фильтрация найденных ресурсов в разрезе научно-исследовательских институтов, дате публикации, типа ресурса и ключевых слов. На рис. 1 приведен результат поиска по названию ресурсов, содержащих слово" почва". Поиск успешно производится также с учетом различных окончаний искомого слова. При поиске ресурсов по автору учитывается различное написание его имени, в том числе на разных языках. Пример результатов поиска по автору приведен на рис. 2.

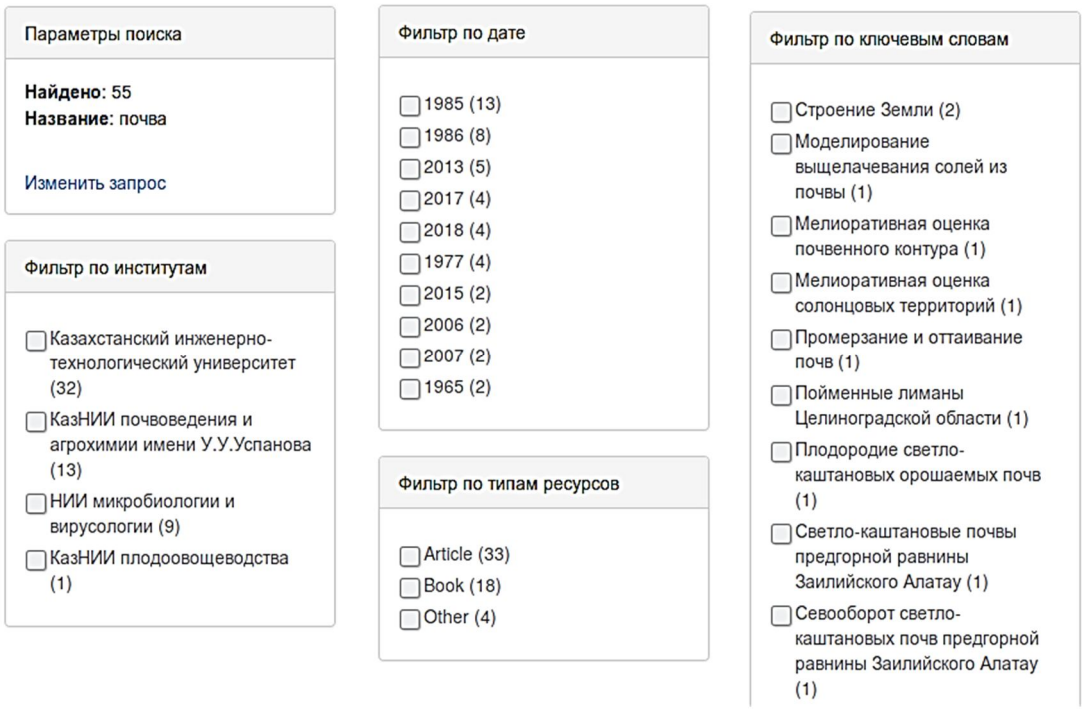


Рис. 1 Блок фильтров в разрезе научно-исследовательских институтов, даты публикации, типа ресурса и ключевых слов

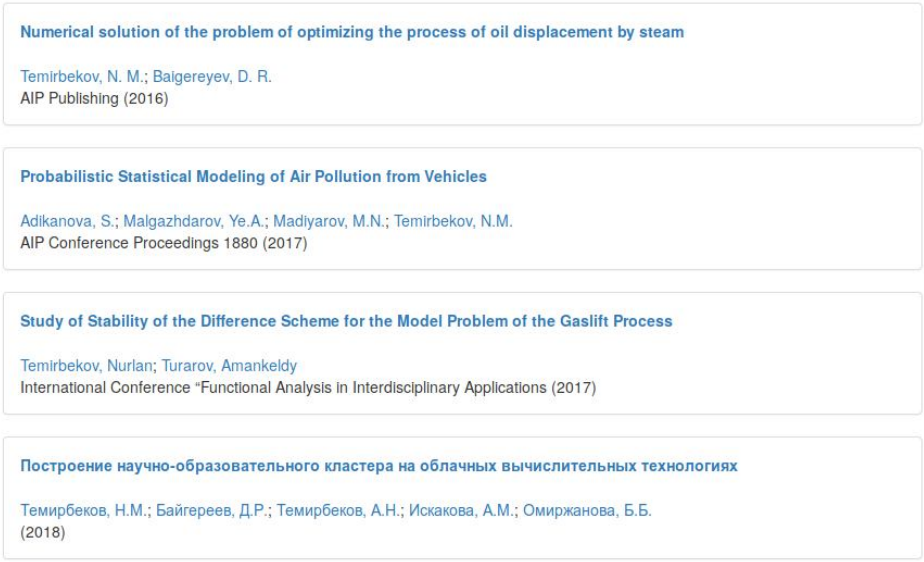


Рис 2. Результат поиска по автору

2. Отображение списка научно-исследовательских институтов, описание научных направлений и достижений, списка их сотрудников, а также метаданных публикаций, имеющихся в репозитории цифровых объектов.

3. Профиль ученого, место его работы и ссылки на профили в различных базах данных, краткое описание его научного вклада, а также отображение метаданных публикаций, имеющихся в репозитории цифровых объектов.

Таким образом, в результате интеграции подсистем информационной системы обеспечивается «прозрачный» поиск по репозиторию цифровых объектов и по системе управления текущей научно-исследовательской информацией, предоставлен единый пользовательский интерфейс для их функций.

Литература

1. Шокин Ю.И., Темирбеков Н.М., Жижимов О.Л., Темирбеков А.Н., Байгереев Д.Р. Модель интегрированной распределенной библиотечной информационной системы Академгородка г. Алматы // Вычислительные технологии. - 2018. – Т. 23, № 5. - С. 110–119.

2. Temirbekov N., Baigereyev D., Temirbekov A. Architecture of the Distributed Information System of the Almaty Academgorodok // Przeglad Elektrotechniczny. - 2019. - Vol. 95, No. 5. - pp. 75–78.

3. DSpace. - https://duraspace.org/dspace/ (01.09.2019).

4. Бегтин И., Горбунова А. Электронная библиотека: Инструкция по установке. - М.: Ваш формат, - 2017. – 136 с.

5. Шокин Ю.И., Жижимов О.Л., Федотов А.М. Информационные системы ИВТ СО РАН // Труды XVI Всероссийской конференции DICR-2017. - 2017. - С. 11–18.

6. Chudlarsky T., Dvorak J. A National Cris Infrastructure as the Cornerstone of Transparency in the Research Domain // E-Infrastructures for Research and Innovation: Linking Information Systems to Improve Scientific Knowledge Production: Proceedings of the 11th International Conference on Current Research Information Systems (June 6-9, 2012, Prague, Czech Republic). - 2012. - pp. 9–17.
7. DSpace-CRIS. - https://wiki.duraspace.org/display/dspacecris/dspace-cris+home (01.09.2019).
8. DSpace Rest API. - https://wiki.duraspace.org/display/DSDOC6x/rest+api (01.09.2019).

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТОВОЛОКНА КАК УПРУГО-ВЯЗКОЙ СРЕДЫ

[1]Тергеусизова А.С., [2]Тойгожинова А.Ж., [3]Мусапирова Г.Д.
e-mail: [1]aliya55@mail.ru, [2]aynur_t@mail.ru, [3]mgulz1@yandex.kz
Казахский национальный университет имени аль – Фараби, Казахстан
Казахская академия транспорта и коммуникации имени М. Тынышбаева, Казахстан
Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан

Аннотация. *В работе рассмотрена аналитическая модель зоны формирования оптического волокна. Аналитические модели дают общее представление о механизмах связи основных параметров процесса вытяжки. Для изучения процессов, происходящих в зоне вытяжки оптического волокна, предложены математические модели, основанные на механике сплошных сред, в том числе три группы уравнений: уравнения равновесия сил, уравнения неразрывности и уравнения, определяющие физическое состояние среды.*

Простые однородные тела можно представить в виде комбинации упругих и вязких реологических элементов. Реологическая модель преформы может быть представлена последовательным соединением упругого и вязкого элементов (тело Максвелла), показанным на рисунке 1. Его упругость предопределена уравнением Максвелла, рассматриваемом ниже. В итоге первоначально созданное напряжение полностью исчезнет за счет протекания релаксационного процесса, при этом его скорость будет определяться только механизмом вязкого течения.

При мгновенном действии силы (в направлении стрелки) вязкая жидкость не успеет протечь между стенками цилиндра и поршня и вязкий вид деформации не будет реализован, но пружинка растянется. Тело проявит только свои упругие свойства. При медленном (или статическом) действии при растянутой пружине проявится только вязкая деформация, а упругая окажется при этом уже

исчерпанной. Если задать некоторое растягивающее напряжение и не влиять на это напряжение, то его релаксация будет описываться уравнением экспоненты.

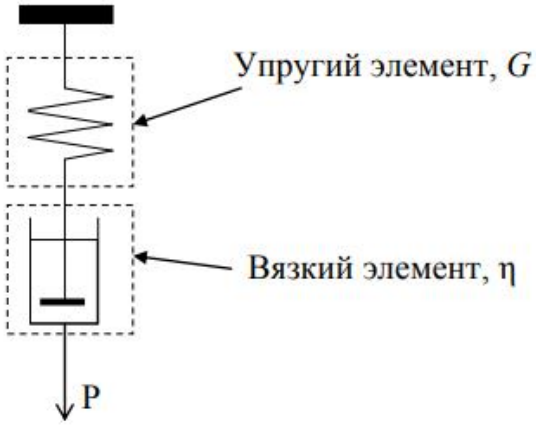


Рис. 1 Реологическая модель стекла (тело Максвелла)

Существует большое количество эмпирических закономерностей, описывающих температурную зависимость вязкости, но диапазон измеряемых значений вязкости (16 порядков) очень велик и поэтому измерения температурных зависимостей вязкости стеклообразующих систем в полном диапазоне сталкиваются со значительными трудностями.

Рассмотрим вначале аналитическую модель зоны вытяжки оптических волокон.

Процесс формирования геометрии оптоволокна происходит в зоне формирования, которая представляет собой переход от нагретой стеклянной массы к оптоволокну. Для изучения процессов, происходящих в этой зоне, предложены математические модели, основанные на механике сплошных сред, в том числе три группы уравнений: уравнения равновесия сил, уравнения неразрывности и уравнения, определяющие физическое состояние среды.

Зона формирования является телом вращения. Поэтому используется цилиндрическая система координат rz, где z - осевая координата; r - радиус круга в сечении с координатой z. Достаточно двух координат, так как рассматривается одномерное движение (рисунок 2).

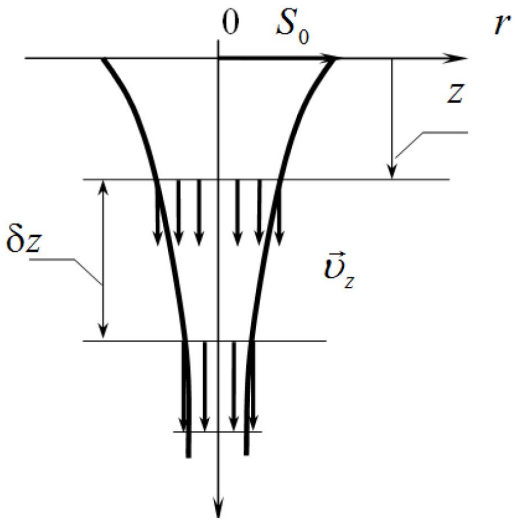


Рис. 2 Схема одномерного потока процесса вытяжки стеклянного световода

Если предположить, что скорость, вязкость и напряжения в зоне пласта являются функциями времени и осевой координаты, то система разрешающих уравнений сводится к трем уравнениям (одномерная модель потока).

При построении математической модели процессов в зоне формирования луковицы принято допущение о том, что зона перетяжки представляет собой тело вращения. Вследствие осевой симметрии достаточно цилиндрических координат *z u r*. Полагая, что основные параметры процесса – вязкость, скорость напряжения в зоне перетяжки – представляют собой функции времени и осевой координаты, получим уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial (vS)}{\partial z} = 0 \qquad (1)$$

где v – скорость частиц среды; S – площадь поперечного сечения; t – время.

Для формализации динамики процесса вытяжки как сплошной среды воспользуемся теоремой об изменении количества движения элементарного объема:

$$\rho \left[\frac{\partial vS}{\partial t} + \frac{\partial (v^2 S)}{\partial z}\right] = \rho S g + \frac{\partial (pS)}{\partial z} \qquad (2)$$

где ρ – постоянная плотность стекломассы; p – напряжение с исследуемом сечении; g – ускорение свободного падения.

Реологическая модель стекла может быть представлена последовательным соединением упругого и вязкого элементов (тело Максвелла). При этом предполагается, что первоначально созданное напряжение полностью исчезнет за счет протекания релаксационного процесса. Его скорость будет определена только механизмом вязкого течения. Для описания состояния среды воспользуемся моделью Максвелла:

$$p + \lambda\left(\frac{\partial p}{\partial t} + v\frac{\partial p}{\partial z}\right) = 3\,\mu\frac{\partial v}{\partial z} \tag{3}$$

где λ = μ/G - длительность релаксации; μ - динамическая вязкость стекломассы; G - модуль упругости стекломассы.

Для описания установившегося режима приравняем частные производные по времени нулю. Тогда уравнения (1) – (3) примут вид:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d(Sv)}{dz} &= 0 \\ \rho\frac{d(v^2S)}{dz} &= \rho Sg + \frac{d(pS)}{dz} \\ p + \lambda v\frac{dp}{dz} &= 3\mu\frac{dv}{dz} \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

При этом скорости v в начале и конце зоны вытяжки известны: они соответствуют скорости подачи преформы в печь и скорости вытяжки. Эти уравнения не интегрируются в квадратурах и решение возможно только численно.

После выхода на установившийся режим в силу каких-либо неконтролируемых воздействий могут происходить отклонения технологических параметров, вызывающих возмущения зоны перетяжки и, соответственно, изменения диаметра.

Зависимость изменения длины зоны формирования при неконтролируемых возмущениях скорости $\bar{v}$ и вязкости $\bar{\mu}$ может быть определена из первого и второго уравнений системы:

$$\frac{\partial \alpha_v}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial z}\,\frac{(\alpha_\mu - \alpha_v)}{(1 + \alpha_\mu)} \tag{5}$$

$\alpha_v = \bar{v}/v$; $\alpha_\mu = \bar{\mu}/\mu$.

Отсюда можно получить связь возмущений по вязкости и скорости с возмущением величины диаметра:

$$\alpha_v = \alpha_\mu + (\alpha_{v_0} - \alpha_\mu)\exp\left(-\frac{1-\alpha_v}{1+\alpha_\mu}\right)$$

Анализ этого уравнения показывает, что возмущения по вязкости и скорости не являются независимыми: если задавать произвольным образом возмущение по вязкости $\alpha_\mu = \alpha_\mu(z)$, то и при отсутствии начального возмущения п о скорости *(a v =* 0), будет иметь место возмущение скорости. В отсутствии возмущений по вязкости процесс вытяжки будет заведомо устойчивым.

Характер переходных процессов процесса вытяжки зависит от реакции стекломассы на единичный импульс. Для определения реакции стекломассы на

единичный импульс использовано понятие критического коэффициента демпфирования:

$$\eta_{\text{кр}} = 2m\sqrt{\frac{c}{m}} = 4m\pi\frac{1}{T}$$

где m – количество стекломассы в зоне формирования, η и c – коэффициенты демпфирования и упругости стекломассы. При $\eta < \eta_{кр}$ стекломасса в зоне формирования проявляет упругие свойства и соответствует типовому колебательному звену. При $\eta > \eta_{кр}$ реакция является апериодической (рисунок 3).

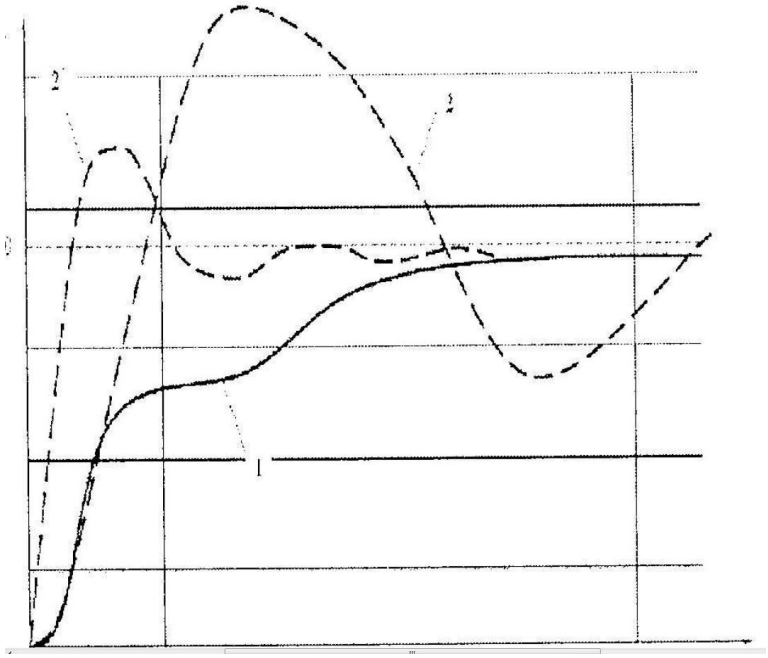


Рис. 3 Вид переходных процессов

Аналитические модели дают общее представление о механизмах связи основных параметров процесса вытяжки. Для подтверждения этих связей было проведено исследование влияния основных факторов процесса: скорости вытяжки (x_1) и температуры в зоне нагрева (x_2). Зависимой величиной (y) является отклонение Δd диаметра поперечного сечения оптоволокна от заданного значения. Для проведения расчетов введены нормированные переменные.

В результате расчетов была получена модель:

$$y = 5{,}40 - 1{,}25x_1 + 1{,}25x_2 - 1{,}41x_1x_2$$

При этом оценки коэффициентов уравнения регрессии следующие: построчные дисперсии $S^2_1 = 1{,}056$, $S^2_2 = 0{,}854$, $S^2_3 = 0{,}932$, $S^2_4 = 0{,}576$; дисперсия воспроизводимости $S^2(y) = 0{,}855$; среднее значение дисперсии $S^2(\bar{y}) = 0{,}071$; стандартная ошибка коэффициентов в уравнении регрессии $S(b_i) = 0{,}133$.

Значение коэффициента Стьюдента с доверительной вероятностью P = 0,95 и числом степеней свободы, равным f = N (n -1) = 4 (12 -1) = 44, составляет t_p= 2,02.

Поскольку $|b_{min}| = |b_1| = 1,25 > 0,133 \times 2,02 = 0,269$, все коэффициенты в уравнении регрессии являются значимыми.

Среднее значение отклика при нулевых значениях контрольных факторов составляет $\bar{y}_0$ =4,75. Дисперсия нулевого уровня составляет S^2_0 (y)= 0,138.

Теоретическое значение критерия Фишера для степеней свободы 1 и 11 с уровнем P = 0,99 было найдено как F(1.11) = 4.0. Поэтому полученная модель является адекватной.

Таким образом, с увеличением скорости вытяжки и уменьшением температуры в зоне нагрева (следовательно, с увеличением вязкости) отклонение диаметра Δd уменьшается. Однако снижение температуры зоны нагрева имеет ограниченный характер: температура не может быть снижена ниже порогового значения из-за того, что при недостаточных температурах не происходит выделение примесных пузырьков, вследствие чего снижается чистота световода и его функциональные свойства. Так, для получения кремнезема в виде стекла, свободного от пузырьков, необходимо нагревание до температуры 2200 °C.

Поскольку диаметр волокна напрямую связан с двумя управляемыми переменными скорости вытяжки и скорости подачи по принципу сохранения массы и только косвенно с другими управляемыми переменными, такими как температура источника тепла или тепловой поток, это системные переменные, через которые может управляющий сигнал наиболее эффективно быть вовлеченным в процесс. Результаты показывают, что динамический отклик волокна на два порядка быстрее по отношению к скорости вытягивания, чем к скорости подачи.

Литература

1. Жиро А. Технологии производства оптических волокон. Обзор последних разработок // Наука и техника. 2009. №4. – С.22 – 27.

2. Sandoz F. et al. A Novel process to manufacture high efficiency laser fibers. Photonics 2008, Dehli.

3. Roy P. et al. Active Optical Fibers: New design and alternative method of fabrication. Photonics 2008, Dehli.

4. Sarkar B. Orchanian A. C han. «A Novel VAD process», IWCS 2008.

5. В.П. Первадчук, А.Р. Давыдов. Имитационная модель процесса вытяжки кварцевых оптических волокон. Прикладная фотоника № 1, 2014. – С.87 – 96.

6. Lei Chen, Zhong Dong Wang. Temperature Measurement and Control of Fiber Drawing Furnace Based on Virtual Instrument. Advanced Materials Research Online:2012-06-04 ISSN: 1662-8985, Vol. 529, pp 507-511 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.529.507 © 2012 Trans Tech Publications, Switzerland

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РЕЖИМА СЕЗОННОГО ПОПОЛНЕНИЯ КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СУАР, КНР) НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Терехов А.Г., Пак А.А., Егембердиева З.М.
e-mail: aterekhov1@yandex.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация. *Крупная трансграничная река Иле (КНР-Казахстан), с объемом годового стока на границе КНР-Казахстана в 10-20 куб. км имеет большое экономическое и экологическое значение в Центральной Азии. Работа посвящена решению задачи прогноза календарных сроков сезонного заполнения Капшагайского водохранилища, расположенного в бассейне р. Иле в Синьцзян-Уйгурском автономном районе КНР. Водохранилище работает в энергетическом режиме, т.е. пополнение проводится в теплый период, а срабатывание в холодный. Сезонное пополнение Капшагайского водохранилища, в некоторые годы, продуцирует острые техногенные маловодья реки Иле на границе с КНР в конце лета, что наносит значительный экономический ущерб народному хозяйству в Казахстанской части бассейна реки. Ключевым параметром прогноза являлись спутниковые оценки запасов снега в зонах формирования стока р.Иле на территории КНР (бассейн реки, включая хребты Восточного и Внутреннего Тянь-Шаня). Снежный покров китайской части бассейна р.Иле характеризовался новыми спутниковыми продуктами USGS/EROS "Snow Depth" и "Snow Water Equivalent Anomaly" (Noah 3.6 SWE Model, версия 2019 года). В работе был проанализирован суточный архив данных 2001-2019 гг. и определены параметры снежного покрова бассейна р. Иле (КНР) в период с 1 января по 30 апреля. Были выбраны три ключевых характеристики снежного покрова: сезонный максимум высоты снега; средняя высота снега в период 1.01-30.04; и аномалии водного эквивалента снега на 1 мая. Эти характеристики тесно связаны с водностью сезона и соответственно с календарными датами пополнения водохранилища. Выбранные параметры составили основу для эмпирических соотношений, используемых для прогноза режима сезонного пополнения Капшагайского вдрх. (р.Текес, КНР) с заблаговременностью до 3 месяцев.*

Введение

Трансграничная река Иле (длина 1439 км, площадь бассейна 140 тыс. кв. км^2), верхняя часть которой, относится к КНР, а нижняя к Казахстану, собирает воду в хребтах Тянь-Шаня и имеет преимущественно снеговое и ледниковое питание [1], рис.1. Объем годового стока реки на границе КНР-Казахстан в условиях резко континентального климата существенно варьируется, от 10 до 20 км3 [1]. В 2006 году в КНР на р.Текес (крупнейший приток р.Иле) было построено Капшагайское водохранилище, с рабочим объемом 1,4 км^3 [2]. Водохранилище работает в энергетическом режиме, пополнение проходит в теплый период, а срабатывание в холодный [2]. В маловодные годы сроки сезонного пополнения водохранилища

вынуждено смещаются на конец лета. В этот период потенциал забора воды в водохранилище ограничен естественным сезонным уменьшением расхода воды в реках снежно-ледового питания. Соответственно, для пополнения Капшагайского водохранилища приходится использовать значительную долю речного стока, чтобы успеть до снижения водности реки Текес в осенний период. Такой режим водозабора в водохранилище приводит к формированию острого антропогенного маловодья на реке Иле в августе-сентябре. Прогноз этого явления с заблаговременностью до 3 месяцев очень важен для эффективного администрирования водными ресурсами р. Иле в нижней части бассейна на территории Казахстана.

Оперативная гидрологическая информация по китайской части бассейна р. Иле для Казахстанской стороны ограничена данными по расходу воды на пограничном гидропосту «Sandaohezi» [3], чего недостаточно для долгосрочного прогноза водности сезона на китайской территории. Данные дистанционного зондирования способны, в определенной мере, восполнить этот пробел, давая регулярную информацию, связанную с различными гидрологическими характеристиками территории СУАР и водных объектов, расположенных на ней. Так, спутниковый мониторинг над размером водного зеркала Капшагайского вдхр. совместно с 3D моделью рельефа местности (Digital Elevation Model [DEM]) позволяет рассчитывать параметры водного обмена между Капшагайским водохранилищем и стоком р. Текес, а также оценивать текущий объем воды, накопленной в рабочей части резервуара [4]. Целью данной работы являлась разработка методики спутниковых оценок запасов снега в зонах формирования стока в бассейне р. Иле и схемы прогноза календарных дат сезонного заполнения Капшагайского водохранилища на этой основе.

Территория исследования

Китайский сектор бассейна является основным источником водосбора трансграничной реки Иле. Высокие хребты Тянь-Шаня, имеющие мощное оледенение, в частности, восточный Тянь-Шань, хребты: Боро-Хоро (высшая точка 4500 м), Ирен-Хабырга (5248 м) и Укен (4323 м); внутренний Тянь-Шаня, хребты: Нарат (4112 м), Халык-тау (6357 м) и Аврал-Ула; обеспечивают сток горных рек, притоков реки Иле, рис.1.

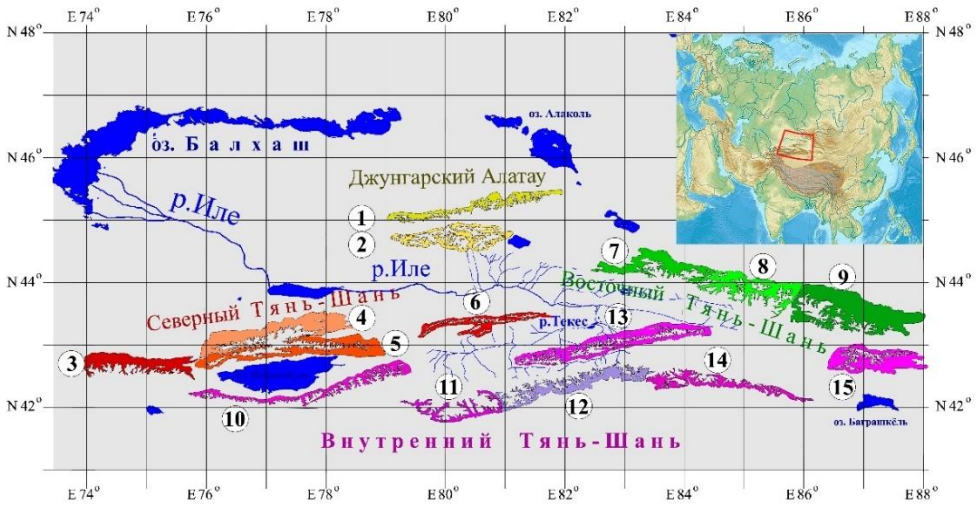


Рис. 1 Картосхема бассейна р.Иле. Цифрами отображены следующие горные районы, Джунгарский Алатау: 1 – Северный хребет; 2 – Южный хребет; Северный Тянь-Шань: 3 – Киргизский хребет; 4 – Заилийский Алатау; 5 – Кунгей Алатау; 6 – Кетмень; Восточный Тянь-Шань: 7 – хребет Боро-Хоро; 8- Экен-Хабырга; 9 – хребет Укен; Внутренний Тянь-Шань: 10 – Терскей Алатау; 11 – Кокшаал Тау; 12 – хребет Халык; 13 – хребет Нарат; 14 – хребет Борохотан; 15 – горы Борто-Ула.

Запасы снега в высокогорных зонах формируются, в основном, в зимне-весенний период, когда осадки выпадают в твердой форме. Характерные пространственно-временные масштабы синоптических процессов, приносящих осадки в холодный период, создают достаточно выравненные запасы снега. Нетипично соседствование контрастных запасов снега, многолетний максимум рядом с многолетним минимумом. Поэтому, для оценки состояния снежного покрова можно проводить мониторинг снежного покрова всей территории китайского сектора бассейна р. Иле. Состояние снежного покрова в китайском секторе бассейне реки в холодный период принималось за параметр, характеризующий снежность сезона и соответственно, уровень запасов снега в зонах формирования речного стока реки Иле.

Спутниковые данные

В настоящий момент на портале программы Famine Early Warning Systems (FEWS NET) (https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/) размещены новые продукты USGS/EROS, характеризующие параметры снежного покрытия Центральной Азии (Snow Cover, Snow Depth, Snow Water Equivalent). Стандартный подход при дистанционном зондировании снежного покрова опирается на моделирование и анализ сложной структуры отраженного сигнала при спутниковом микроволновом зондировании. Затем, решается задача пересчета 3D структуры диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности, в высоту и влагосодержание снега. Точность таких продуктов оставляет желать лучшего [5]. Новые продукты USFS/EROS, описывающие параметры снежного покрова, основываются на ином принципе. По данным спутникового зондирования (спутники

Terra и Aqua) проводится восстановление текущего 3D рельефа местности (DEM), которое сравнивается с данными теплого периода, т.е. состояния без снежного покрова. Разница между этими DEM характеризует высоту снежного покрова. Переход от высоты снежного покрова к его водному эквиваленту (Snow Water Equivalent [SWE]) идет через оценку процессов «старения» снега и соответственно эволюции его плотности.

Спутниковые продукты USGS\EROS, FEWS NET «высота снега» (Snow Depth (SD)) и аномалии водного эквивалента снега (Snow Water Equivalent Anomaly (SWEA)) могут использоваться для оценки запаса снега в зонах формирования стока реки Иле на территории КНР. Продукты SD и SWEA (Noah 3.6 SWE Model, версия 2019 года) имеют суточное обновление и пространственное разрешение 2,6 минуты (примерно 4х5 км). Доступен архив данных, для SD с 2000 года, для SWEA с 2002 года [6]. Таким образом, 11-летний (2009-2019 гг.) период штатной работы Капшагайского вдхр. (р.Текес) обеспечен детальными спутниковыми оценками параметров снежного покрова (SD, SWEA) китайской части бассейна р.Иле, что дает основу для анализа и построения эмпирических схем прогноза водности сезона.

Методика обработки данных

Первоначально был определен период мониторинга внутри холодного сезона. Предполагалось, что информационная насыщенность параметров снежного покрытия периода до 1 января невысока и его можно не включать в рассмотрение. Таким образом, был выбран период мониторинга, включающий 90 дней, с 1 января по 30 апреля, рис.2. После 30 апреля снежный покров остается только в среднегорье и выше, а его спутниковый мониторинг с пространственным разрешением 4х5 км становится недостаточно корректным из-за смешанного состава (снег – открытая почва) большинства пикселей.

С помощью экспертного дешифрирования был создан контур китайского сектора бассейна р. Иле. Внутри этого контура из имеющейся базы данных продукта «Snow Depth» ежесуточно определялась средняя высота снега. Таким образом, для анализируемого 90-дневного периода рассчитывались кривые временной эволюции средней высоты снежного покрытия китайской части бассейна р. Иле в сезонах 2001-2019 гг. Кривая временной зависимости высоты снега в анализируемом контуре имеет два характерных момента, сезонный максимум и среднее значение за период мониторинга. Эти параметры использовались для характеристики сезонных особенностей снежного покрытия китайской части бассейна р.Иле.

Продукт SWEA представлял собой разницу, между текущей величиной водного эквивалента снега и ее средней величиной на этот день, зарегистрированной за период 2002-2016 гг. (USGS/FEWS…, 2019). Аномалии водного эквивалента снежного покрытия в исходных продуктах имеют размерность (мм, H_2O), что недостаточно информативно в рамках решаемой задачи, поскольку эти значения не привязаны к климатическим нормам территории (многолетний минимум, среднее, многолетний максимум). В связи с этим, значения SWEA были пересчитаны в шкалу комбинированного индекса условий [7], который дает оценку в шкале климатических норм, где 0 - многолетний минимум; 50 – среднее многолетнее; 100 – многолетний максимум.

Таким образом, было определено три ключевых параметра сезонного снежного покрова китайской части бассейна р. Иле: сезонный максимум высоты снега (см); сезонное среднее высоты снега (см); и аномалии водного эквивалента снежного покрытия на 1 мая(символические единицы). Эти параметры формировали трехмерное фазовое пространство признаков, в котором предполагалось выделить режим маловодности сезона, характеризующийся смещенными сроками пополнения Капшагайского водохранилища и большой вероятностью формирования острого, антропогенного, позднелетнего маловодья на р. Иле.

Полученные результаты

Десять последних лет (2009-2018 гг.), по датам сезонного пополнения Капшагайского водохранилища, делятся на два режима: раннелетний (2009, 2010, 2011, 2015, 2016, 2017 гг.); и позднелетний (2012, 2013, 2014, 2018 гг.), рис.2. Режим 2019 года представлен на рис.3. Сопоставление значений ключевых параметров снежного покрова между этими двумя группами лет представлено на рис.4. Диапазоны значений ключевых параметров, характеризующих группы лет раннелетних и позднелетних сроков заполнения водохранилища, почти не пересекаются, рис.4. Это демонстрирует хорошую различимость маловодного режима и указывает на наличие тесной связи между дистанционными оценками запасов снега в зонах формирования стока р.Иле и календарными сроками сезонного пополнения водохранилища (раннелетний или позднелетний).

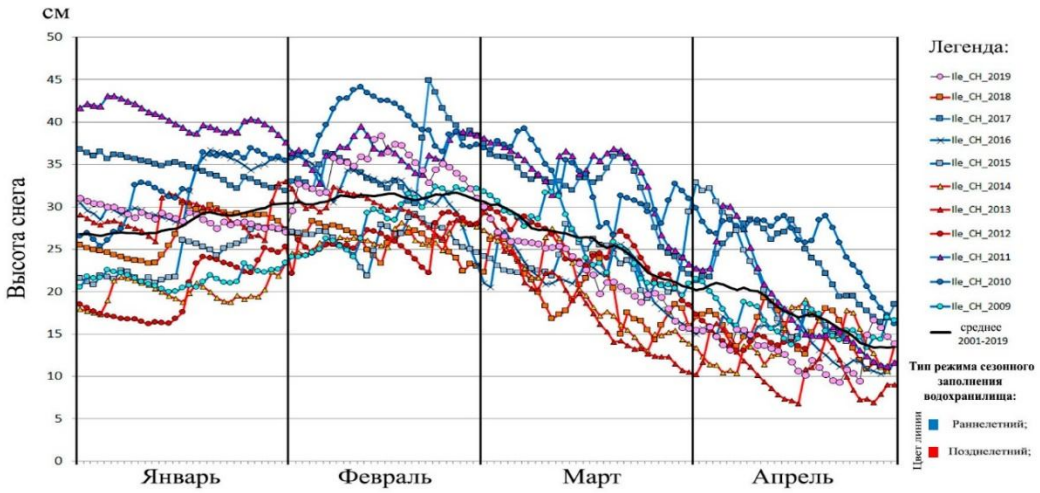


Рис. 2 Динамика средней высоты снежного покрова в китайской части бассейна р.Иле в период (1 января – 30 апреля) в различных временных выборках, в том числе: сезон 2019 года; средний многолетний режим (2001-2019 гг.); а также для сезонов с раннелетним (2009, 2010, 2011, 2015, 2016, 2017) и позднелетним (2012, 2013, 2014, 2018) режимом сезонного пополнения Капшагайского вдхр. (р.Текес, КНР). Построено на основе суточных данных FEWS NET, USGS/EROS “Snow Depth”

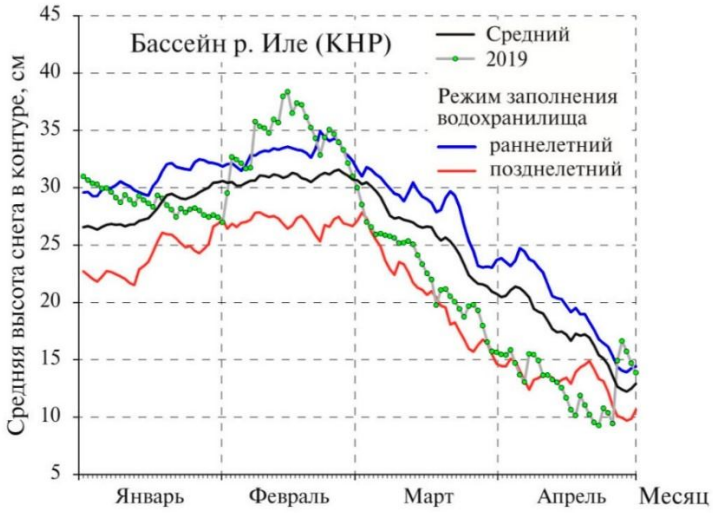


Рис. 3. Динамика средней высоты снежного покрова в китайской части бассейна р.Иле (1 января – 30 апреля) в различных временных выборках, в том числе: сезон 2019 года; средний многолетний режим (2001-2018 гг.); а также для сезонов с раннелетним (2009, 2010, 2011, 2015, 2016, 2017) и позднелетним (2012, 2013, 2014, 2018) режимом сезонного пополнения Капшагайского вдхр. (р.Текес, КНР) [8].

Обсуждение

Три выбранных ключевых признаков, характеризующих состояние снежного покрытия Китайской части бассейна р. Иле, в аспекте объема влагозапаса и потенциала к обеспечению соответствующей водности сезона, представляются весьма информативными. Две группы сезонов, с раннелетним заполнением водохранилища (2009, 2010, 2011, 2015, 2016, 2017 гг.) и позднелетним (2012, 2013, 2014, 2018 гг.) хорошо разделяются в фазовом пространстве выбранных признаков. Наблюдается крайне незначительное пересечение между кластерами (раннелетних и позднелетних режимов заполнения). Полученный результат говорит о высокой относительной точности новых спутниковых продуктов USGS/EROS, характеризующих высоту снежного покрова (продукт SD) и аномалии водного эквивалента снега (продукт SWEA), в бассейне крупной региональной реки с преимущественно снеговым и ледовым питанием. Одной из важных характеристик анализируемой территории, обеспечивающей информативность спутниковых оценок, можно назвать отсутствие леса, что затрудняет дистанционную оценку параметров снежного покрова.

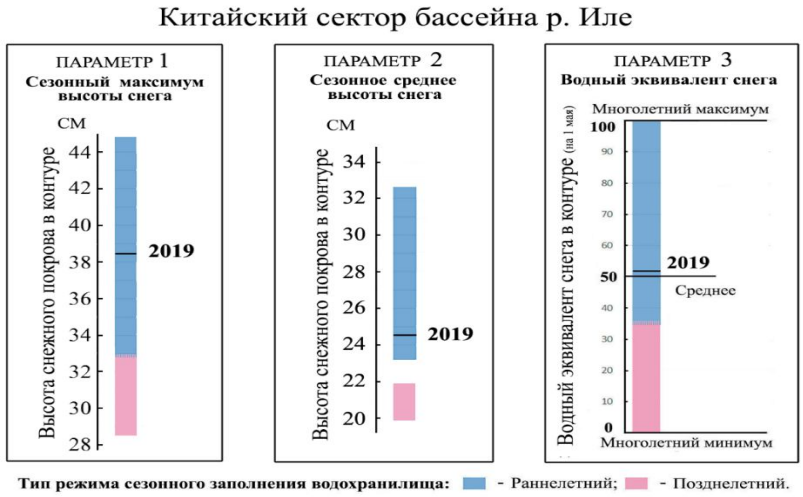


Рис. 4. Три ключевых характеристики снежного покрова китайского сектора бассейна р. Иле, используемые для распознавания типа (раннелетний/ позднелетний) режима заполнения Капшагайского водохранилища (р.Текес) в процедуре прогноза, [8].

Позиция 2019 года в фазовом пространстве вышеперечисленных трех ключевых признаков, формально, близка к средним многолетним условиям, см. рис.4. Однако, сезонный максимум высоты снега в 2019 году имел несколько завышенное значение. Снегопад, сформировавший сезонный максимум, проходил в условиях сильного понижения температуры. Температура воздуха около -30°С сформировала низкую плотность снега и соответственно его завышенную высоту, относительно типичных условий. Несмотря на это, вероятность формирования позднелетнего техногенного маловодья на р.Иле в сезоне 2019 года по данным спутниковых оценок параметров снежного покрытия бассейна реки на 1 мая 2019 г. относительно мала. Но сезон 2019 года не мог быть отнесен к средне или многоводным годам, с выраженным ранним сроком заполнения Капшагайского водохранилища. Условия 2019 года, по ожидаемому режиму заполнения водохранилища, находятся между основными группами лет (раннелетний – позднелетний). Аномальная погода мая-июля может сместить водность сезона к той или иной группе лет.

Аномально жаркая и сухая погода июня-июля 2019 года уменьшила водность сезона в бассейне р. Иле. В результате, заполнение Капшагайского водохранилища в сезоне 2019 года проходило, только на месяц раньше, чем в маловодный 2018 год. Запас воды в 400 млн. $м^3$ в 2019 году был достигнут 10 июля, против 6 августа в 2018 г. Сроки заполнения Капшагайского водохранилища оказались несколько более поздние, относительно ожидавшихся, согласно характеристик снежного покрова периода 1 января – 30 апреля 2019 года. Особенностью сезона стали явления антропогенной маловодности, появлявшиеся в июле в период активного заполнения водохранилища. Но в целом, характеристики снежного покрытия китайской части бассейна р.Иле и сроки заполнения Капшагайского водохранилища в сезоне 2019 года кардинально не нарушали закономерностей, регистрировавшихся в прежнем периоде 2009-2018 гг.

Заключение

Таким образом, разработанная схема обработки спутниковых продуктов USGS/EROS “Snow Depth” и “Snow Water Equivalent Anomaly” в задаче оценке запасов снега в китайской части трансграничного бассейна р.Иле и соответственно прогнозе календарных дат заполнения Капшагайского водохранилища (р.Текес, СУАР КНР) с заблаговременностью до 3 месяцев позволяет получать устойчивые результаты, имеющие важное практическое значение.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект № AP 05134241.

Литература

1. Галаева А.В. Ресурсы речного стока и экологическое состояние бассейна озера Балкаш в условиях современного изменения климата: Дис. … канд. географических наук: 25.00.36. Бишкек, 2017. 138 с.
2. Терехов А.Г., Долгих С.А., Никифорова Л.Н. Китайский сектор бассейна р.Иле: спутниковая диагностика изменений гидрографа реки Текес в результате строительства в 2006 году Капчагайского водохранилища (КНР) // Гидрометеорология и Экология. 2016. Вып. 83. № 4. С. 24-31.
3. Сборник протоколов заседаний Казахстанско-Китайской совместной комиссии по использованию и охране трансграничных рек. 2001-2008. - http://www.cawater-info.net/library/rus/protokols_kaz-china.pdf (дата обращения: 16.05.2019).
4. Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Данные LANDSAT 5,7,8, и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна р.Иле)// Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2015. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.
5. Телегина А.А., Фролова Н.Л., Китаев Л.М., Титкова Т.Б. Оценка точности спутниковой информации о снегозапасах крупных водосборов европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т.11. № 2. С. 38−49.
6. USGS/ FEWS NET Data Portal. - https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia (дата обращения: 10.04.2019).
7. Терехов А.Г., Макаренко Н.Г., Пак И.Т. Комбинированный индекс температурных условий и его применимость к описанию состояния сельскохозяйственной вегетации Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 31-40.
8. Терехов А.Г., Пак А.А. Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной реки Иле в 2019 году // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. (в печати).

IV Международная научно-практическая конференция
"Информатика и прикладная математика",
посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н. 25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ

Урмашев Б.А., Темирбеков А.Н., Сарсембаев М.С.
e-mail: baidaulet.urmashev@kaznu.kz, almas.temirbekov@kaznu.kz, sarsembayev.magzhan@gmail.com
Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Казахстан

Аннотация. *В данной статье рассматривается задача химической кинетики, расчет изменений концентраций веществ в реакции по времени и создание массивно-кинетического солвера для решения задачи с использованием современных технологий распараллеливания. Описывается математическая модель изменения концентраций веществ в системе с одномерным приближением и возможность ускорения вычислений с использованием технологией CUDA. Проведенный расчет на графических процессорах NVIDIA показал, что с увеличением числа реакции время вычислений намного уменшается, по сравнению со временем расчета на центральных процессорах.*

Введение

Горения используется человечеством на протяжении долгих лет и является одной из древнейших технологий. В настоящие время около 90% всей энергии, обеспечивается именно процессами горения.

В прошлом исследование горения было направлено главным образом на изучение механики сплошной среды, включая тепловыделение за счет химических реакций. Часто это тепловыделение описывалось при помощи термодинамики, что предполагает бесконечно быстрые химические реакции. В определенной степени подобный подход оказался продуктивным для описания стационарных процессов горения, но он недостаточен для понимания переходных процессов, таких как воспламенение и затухание, а также для объяснения образования вредных выбросов, тем более что проблема образования вредных выбросов при горении ископаемых топлив была, есть и будет одной из важнейших задач в будущем [1].

Физическое описание процесса горения является весьма сложной задачей, в связи с многообразием явлений, происходящих от момента воспламенения до самого процесса горения. Несмотря на последние достижения, необходимость в изучении процесса горения продолжает оставаться весьма актуальной проблемой. Процесс сгорания топлива является основным процессом, в котором теплота топлива превращается в механическую работу [2, 3, 5, 6].

Использование численных методов моделирования, ориентированных на применение суперкомпьютеров, значительно расширяет возможности математического моделирования, позволяя включить в модель факторы не учитываемые ранее. Детальный анализ динамики горения топлив предполагает строгий учет всех физических процессов, в том числе процессов конвективного теплообмена между свежим газом и продуктами горения и конструктивными элементами оболочки [4, 7].

В ходе реализации массивно параллельно-вычислительного кинетического солвера, для моделирования кинетики химически реагирующих систем в нульмерном приближениях, было разработано программное обеспечение «Химический калькулятор». С использованием данного программного обеспечения время вычисления ускорилась до 17.5 раза.

Методы и технологии

Использование графических процессоров для распараллелирования данных при вычислений, в последние годы широко используют в различных областях, включая обработку видео и изображений, вычислительную биологию и химию, моделирование динамики жидкостей, восстановление изображений, полученных путем компьютерной томографии, сейсмический анализ, трассировку лучей и многое другое. Использование такой технологии параллелизации при решении уравнении химической кинетики дает возможность уменшить временные и вычислительные затраты.

CUDA (Compute Unified Device Architecture - унифицированная архитектура вычислительного устройства) – это архитектура параллельных вычислений от NVIDIA, позволяющая существенно увеличить вычислительную производительность, благодаря использованию GPU (графических процессоров) [8]. Особенностью оборудования, поддерживающего технологию CUDA является возможность обеспечивать на порядок большую (по сравнению с кластерами) пропускную способность при работе с памятью [9]. Эта технология, в графических ускорителях NVIDIA, появилась начиная с восьмой серии, и в нем реализована архитектура параллельных вычислений, которая предоставляет специализированный программный интерфейс для не графических вычислений.

Логический процессор с поддержкой CUDA можно рассматривать как набор многоядерных процессоров. Основными вычислительными блоками таких видеочипов являются мультипроцессоры, которые состоят из восьми ядер, нескольких тысяч 32-битных регистров, 16 Кбайт общей памяти, текстурных и константных кэшей.

До официального появления технологии CUDA проводились эксперименты по использованию графических карт настольных систем для реализации потоковых вычислений. Так, с помощью графических программно-аппаратных интерфейсов и представления данных в качестве массивов текстур, удалось добиться троекратного увеличения производительности в экспериментах. Стоит отметить также, одно из ключевых достоинств технологии CUDA - отсутствие необходимости в разработке программ, следовать графическим “метафорам” - типам данных и принципам построения вычислений, характерным исключительно для обработки вершин и пикселей при построении кадра.

Реализация вычислений с сочетанием CUDA и OpenMP и параллелизма центральных процессоров на уровне языка программирования и программно-аппаратного интерфейса создает еще один уровень прироста производительности.

Литература, касающегося не только CUDA, но и предыдущие аппаратные реализации параллельных вычислений химических задач на графических картах демонстрируют ускорение в пределах от 2-х до 15-и [10-12].

Математическая постановка задачи

Рассмотрим задачу химической кинетики для вычисления изменения концентраций веществ в ходе реакции, закон скорости химической реакции на примере реакции, записанной в общем виде:

$$A_1 + A_2 + A_3 + \ldots \xrightarrow{k} A_4 + A_5 + A_6 \ldots$$

где A_1, A_2, A_3, … - различные компоненты, участвующие в реакции, k - константа скорости. Скорость реакций можно записать следующим образом:

$$\frac{dC_1}{dt} = -kC_1^{a1}C_2^{a2}C_3^{a3}....$$

где C_1, C_1,C_1... и a1,a2,a3... - концентрации и порядки реакции по отношению к компонентам A_1, A_2, A_3…, соответственно.

Так как, изменение концентрации веществ в такой системе по времени напрямую зависить от скорости хода реакции, нам потребуется определить скорости прямой и обратной реакций.

$$\sum_{k=1}^{K} v'_{ki}\,\chi_k \Leftrightarrow \sum_{k=1}^{K} v''_{ki}\,\chi_k \qquad (i = 1, \ldots, I)$$

Стехиометрические коэффициенты v_{ki} - целые числа и χ_k - химический символ k −го вещества. v'_{ki} − стехиометрические коэффициенты реагентов, v''_{ki} − стехиометрические коэффициенты продуктов. Обычно в элементарных реакциях участвуют три или четыре веществ.

Скорость образования k-го вещества $\dot{\omega}_k$ вычисляется по следующей формуле:

$$\dot{\omega}_k = \sum_{i=1}^{I} v_{ki}\,q_i \qquad (k = 1, \ldots, K)$$

здесь $v_{ki} = v''_{ki} - v'_{ki}$.

Скорость изменения хода реакции i-ой реакций определяется по формуле

$$q_i = k_{fi}\prod_{k=1}^{K}[X_k]^{v''_{ki}} - k_{ri}\prod_{k=1}^{K}[X_k]^{v'_{ki}}$$

$$K_{c_i} = \frac{k_{fi}}{k_{ri}}$$

Скорость прямой реакций определяется формулой Аррениуса

$$k_{fi} = A_i T^{\beta_i} \exp\left(\frac{-E_i}{R_c T}\right)$$

где R - универсальная газовая постоянная; A_i - предэкспоненциальный множитель, который не зависит от температуры, а определяется только видом реакции; β_i −температурный экспонент, E_i - энергия активации i - ой реакций, которую можно охарактеризовать как некоторую пороговую энергию: грубо говоря, если энергия сталкивающихся частиц меньше E_i, то при столкновении реакция не произойдет, если энергия превышает E_i, реакция произойдет. Энергия активации не зависит от температуры.

При низких температурах химические реакции протекают очень медленно. При очень высоких температурах константа скорости стремится к предельному значению: $k_{fi} \longrightarrow A_i$. Это соответствует тому, что все молекулы являются химически активными и каждое столкновение приводит к реакции.

Скорость обратной реакции определяется по формуле

$$k_{ri} = \frac{k_{fi}}{K_{c_i}}$$

$$K_{c_i} = K_{p_i} \left(\frac{P_{atm}}{RT}\right)^{\sum_{k=1}^{K} v_{ki}}$$

Коэффициент равновесия K_{p_i} определяется по следующей формуле

$$K_{p_i} = exp\left(\frac{\triangle S_i^0}{R} - \frac{\triangle H_i^0}{RT}\right)$$

$\triangle$ − описывает изменение, которое происходит при переходе полностью от реагентов к продуктам в i-ой реакции:

$$\frac{\triangle S_i^0}{R} = \sum_{k=1}^{K} v_{ki} \frac{S_k^0}{R}$$

$$\frac{\triangle H_i^0}{RT} = \sum_{k=1}^{K} v_{ki} \frac{H_k^0}{RT}$$

Результаты

В ходе реализации массивно-параллельного кинетического солвера, для моделирования кинетики химически реагирующих систем в нульмерном приближениях, был разработан программный продукт «Химический калькулятор».

Работа программы объединяет в себе процесс вычисления, как на центральном процессоре, так и на графических процессорах NVIDIA, с использованием технологий CUDA. Графический интерфейс программы разработан с использованием языка программирования C#. Интерфейс программы разработан таким способом, чтобы было максимально удобно для пользователя при решения задач химически реагирующих систем. Вид программного продукта указан на рисунке 4.

Таблица – 1. Сравнительный анализ времени расчета в CPU и GPU при разных размерах входного механизма

Механизм: Aramco_Mech				
Шаг времени, dt, сек:	1,00E-19			
Время вычисления: 1000*dt, сек	1,00E-16			
Метод Рунге - Кутты 4 порядка				
Число элементов	Число реакции	Время CPU, мсек	Время GPU, мсек	Ускорение
21	51	6901,00	9080,24	0,76
33	118	39081,00	20204,50	1,93
39	191	87735,00	29619,10	2,96
52	245	199169,00	49747,80	4,00
61	301	336749,00	67557,10	4,98
66	376	491811,00	83188,70	5,91
84	448	946439,00	125339,00	7,55
103	565	1795548,00	186175,00	9,64
162	1006	6832052,80	390403,00	17,5

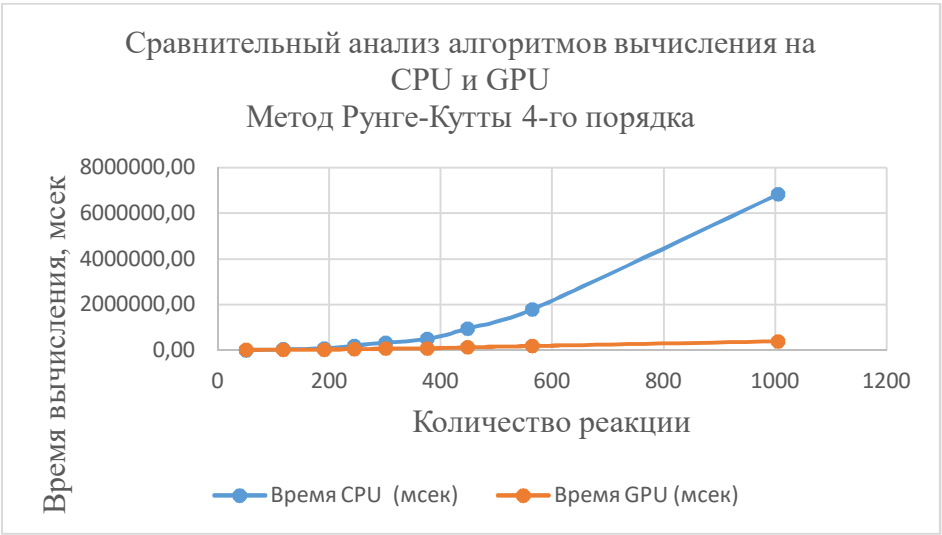


Рисунок – 3. Изменение времени расчета в зависимости от размера механизма с распределением реакции на отдельные нити, при вычислении изменении концентрации, в заданном временном интервале определенного вещества.

Заключение

При проведении вычислении в разработанной программе используются сокращенные файлы механизма Chemkin. Это позволяет пользователю без трудности использовать в созданном свои объемные механизмы в формате программного комплекса Chemkin. Вычисления можно провести как на центральном процессоре, так и на графическом. При проведении расчета на графических процессорах NVIDIA, с увеличением числа реакции время вычисления намного уменьшается по сравнению с временем расчета на центральных процессорах.

В программе реализованы автоматизированное чтение данных из входных файлов на формате программного комплекса Chemkin, вычислительные алгоритмы расчета скоростей реакций, вычисление изменений концентраций веществ по времени. Основные вычисления можно провести с использованием методов Рунге–Кутты 4 и 5-го порядка. Вычисление на центральном процессоре производится с использованием последовательного алгоритма. Вычисление на графических картах NVIDIA, с использованием технологию распараллеливания CUDA, производится параллельным образом.

Используя созданный программный продукт был сделан сравнительный анализ по времени вычислении на центральном процессоре и на графическом процессоре. В результате было выяснено, что ускорение процесса вычислении с использованием графических карт дает очень хороший выигрыш времени.

Литература

1. Y. Varnatts, U. Maas, and R. Dibble,mCombustion of physical and chemical aspects, modeling, experiments, formation of pollutants. Transl. from English. Agafonova G.L. ed. Vlasov P.A., FIZMATLIT, Moscow, 2003.

2. Pio, G., Ricca, A., Palma, V., Salzano, E Low temperature combustion of methane/alkenes mixtures 2019. Fuel 115567

3. Kuppa, K., Nguyen, H.D., Goldmann, A., Korb, B., Wachtmeister, G., Dinkelacker, F Numerical modelling of unburned hydrocarbon emissions in gas engines with varied fuels 2019, Fuel 115532

4. Syrodoy, S., Penyazkov, O., Assad, M., Gutareva, N Mathematical modeling of the electric spark ignition of the coal-water particle fuel under conditions relevant to the internal combustion engines 2016 Thermophysical Basis of Energy Technologies, Tomsk; Russian Federation;

5. Sathiah, P., Holler, T., Kljenak, I., Komen, E The role of CFD combustion modeling in hydrogen safety management – V: Validation for slow deflagrations in homogeneous hydrogen-air experiments, 2016, Nuclear Engineering and Design 310, c. 520-531

6. I.M.R. Fattah, H. L.Yip, Z. Jiang, Anthony C.Y.Yuen, W. Yang, P. R.Medwell, S. Kook, G.H. Yeoh, Q. N.Chan. Effects of flame-plane wall impingement on diesel combustion and soot processes. 2019 Fuel 255,115726

7. Zhapbasbaev U.K., Makashev E.P. Diffusion combustion of a system of plane supersonic hydrogen jets in a supersonic flow. Combustion explosion and shock waves. 2003. 39(4), pp. 415-422.

8. http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html
9. Harris M. Mapping Computational Concepts to GPUs //GPU Gems 2. -2006. - № 2. -P. 493-508.
10. Hall J.D., Carr N.A., Hart J.C. Cache and Bandwidth Aware Matrix Multiplication on the GPU. Technical Report. - UIUCDCS-R-2003-2328. 2012. URL: http://graphics.cs.illinois.edu/sites/default/files/UIUCDCS-R-2003-2328.pdf (дата обращения: 24.11.2016)
11. Horn D. Stream Reduction Operations for GPGPU Applications //GPU Gems 2. -Addison Wesley, 2006. -P. 573-589.
12. Sosutha. Sa, Mohana. Db. Heterogeneous parallel computing using CUDA for chemical process //ScienceDirect. -Procedia Computer Science 47, 2015. -P. 237 – 246.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА

Утепбергенов И.Т., Кудубаева А.Б.
e-mail: ai.k93@mail.ru
Университет «Туран»

Аннотация: *Представлены результаты рассмотрения трех наиболее популярных концепций моделирования муниципального автотранспорта: PTV VISUM, EMME/2, TRANUS. Представлены их характерные признаки также отличия. В заключении предоставлены рекомендации согласно возможности, из применения в населённых пунктах Республики Казахстан.*

Ключевые слова: *транспортная инфраструктура, транспортное моделирование, транспортные системы, транспортное планирование*

Концепция вхождения Казахстана в число 30 самых развитых стран мира предполагает динамичное развитие транспортной инфраструктуры. «Транспортная инфраструктура – это кровеносная система нашей индустриальной экономики и общества», – подчеркнул Президент Нурсултан Назарбаев, представляя Стратегию развития Казахстана до 2050 года [1].

Города и городские центры быстро стали центрами для новых мобильных приложений благодаря беспроводной связи и другим технологическим инновациям. Новые концепции и решения в области мобильности, начиная с выбора источников езды и заканчивая системами совместного использования велосипедов, скутеров и автомобилей, а также обслуживанием автобусов в зависимости от спроса, предоставляют путешественникам гибкие и удобные варианты транспортировки. По мере того как новые технологии заполняют рынок, городские планировщики и отделы транспорта должны определить, как лучше всего развернуть эти решения безопасным и справедливым образом, интегрируя их в существующую инфраструктуру. Поскольку ландшафт мобильности продолжает развиваться, города также должны смотреть на то, как

новые технологии могут повысить безопасность, уменьшить перегрузку и повысить эффективность системы, обеспечивая при этом новые модели для ценообразования инфраструктуры и предоставления улучшенных услуг [2].

В данной статье проводится анализ и изучение наиболее распространенных систем моделирования городского транспорта, их особенности и различия, а также какая из них больше всего подходит для городов Казахстана.

Для изучения и сравнения были выбраны следующие пакеты для транспортного моделирования: PTV VISUM, EMME, TRANUS.

1. PTV VISUM – это универсальный инструмент, который также можно использовать в приложениях для организации дорожного движения, включая подробный анализ перекрестков. Все данные сразу же доступны как для микроскопических (например, отдельных пересечений), так и для макроскопических оценок. Типичные области применения варьируются от реалистичных моделей импеданса узлов, включенных в процедуру назначения, до автоматической оптимизации сигналов.

Базовый модуль VISUM является ядром программы и позволяет выполнить все стандартные задачи транспортного планирования (Рис. 1).

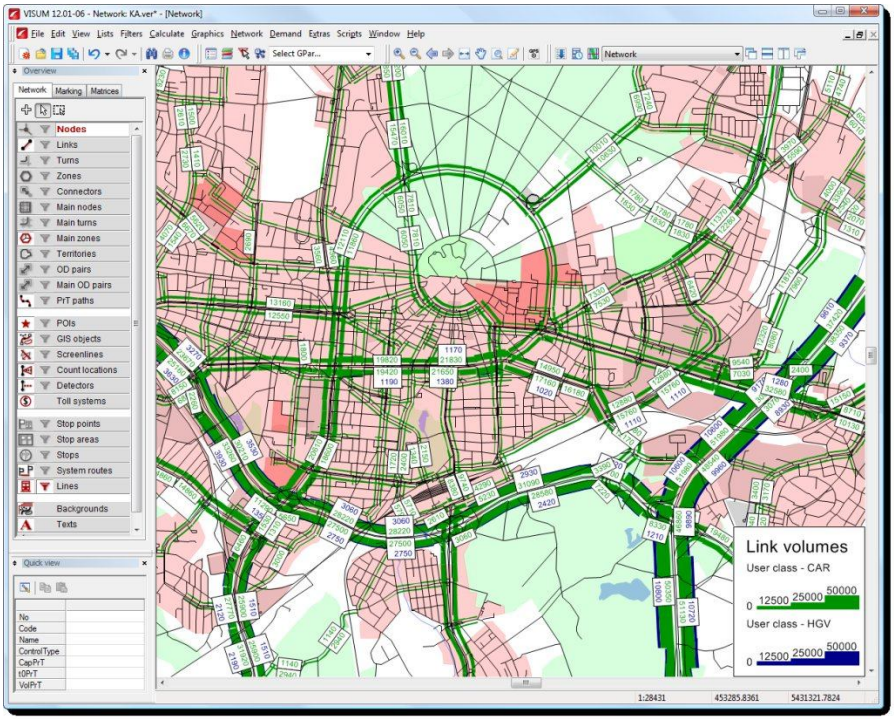


Рис. 1 Интерфейсное окно базового модуля Visum

Базовый модуль VISUM включает [3]:

- Генератор фрагмента сети
- Экспорт VISSIM
- 32 bit и 64 bit версии PTV VISUM

- ГИС-интерфейс - Shape (ArcView 8.0+)/PGD (ArcView 8.3+)/ MapInfo
- COM-Интерфейс
- EMME-Импорт
- CUBE-Импорт
- Google-Transit-Испорт
- Saturn-Импорт
- TransCAD-Импорт

Комплекс программных продуктов используется в проектах по оптимизации работы транспортной системы города и созданию системы управления городским транспортом. Продукты PTV доказали свою эффективность в проектах по транспортному планированию по всему миру.

2. Emme/2 поддерживает некоторые из самых сложных транспортных

моделей в мире надежными алгоритмами и процедурами, разработанными для строгой работы в больших приложениях. Публикуемые, рецензируемые и инновационные методы смягчаются практическим применением и современными вычислениями.

Программный комплекс EMME/2 (Рис. 2) – это прикладная среда для прогнозирования спроса на передвижения, транспортного планирования и связанных с ними вариантов применения, позволяющая:

- Подготавливать и выполнять процедуры моделирования с помощью обновляющегося и

простого в использовании нового интерфейса.

- Быстро создавать и развертывать приложения, используя более 100 понятных модульных

компонентов транспортного прогнозирования, допускающих многократное использование.

- Стандартный инструментарий Emme/2 достойно представляет и усиливает

признанную систему Emme/2, благодаря корректно работающим модульным компонентам с возможностью добавления скриптов.

- Писать скрипты компонентов модели для интерактивного режима, и легко

переходить от интерактивного использования к автоматизации.

- Запускать и затем просматривать инструменты или повторно запускать их с

другими аргументами.

- Создавать новые рабочие процессы из прошлых прогонов, выполненных ранее.

- Визуализировать прогоны модели с прекрасным и четким отображением

иерархии, которое обновляется по мере работы модели.

- Разрабатывать новые процедуры и утилиты моделирования для расширения среды

с использованием сотен новых сервисов и программных интерфейсов приложений.

- Обеспечивать полноценную альтернативу макропрограммированию Emme/2 помощью новых программных интерфейсов приложений Emme/2 для языка Python и не только.

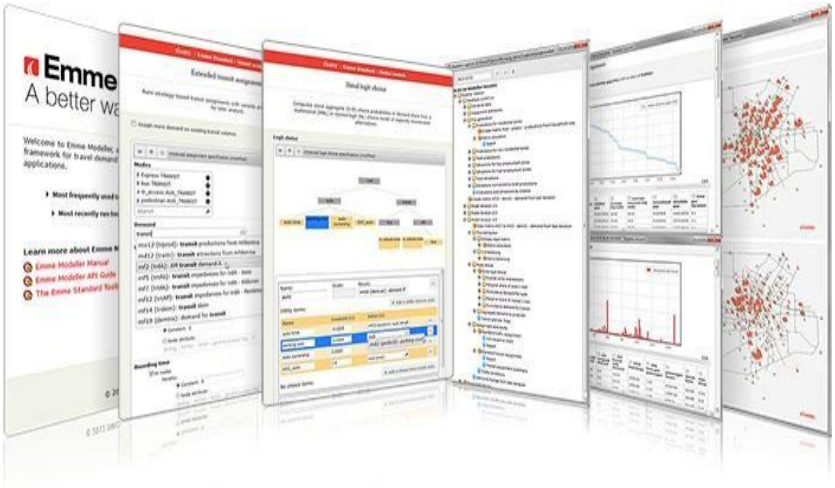


Рис. 2. Программный комплекс EMME/2

3. TRANUS – это компьютерная система, используемая для моделирования местоположения деятельности, землепользования, рынка недвижимости и транспортной системы. Он используется для анализа альтернативной политики или проектов в городском или региональном масштабе [4]. Это полностью интегрированная система, хотя транспортная модель может использоваться как отдельная (Рис. 3)

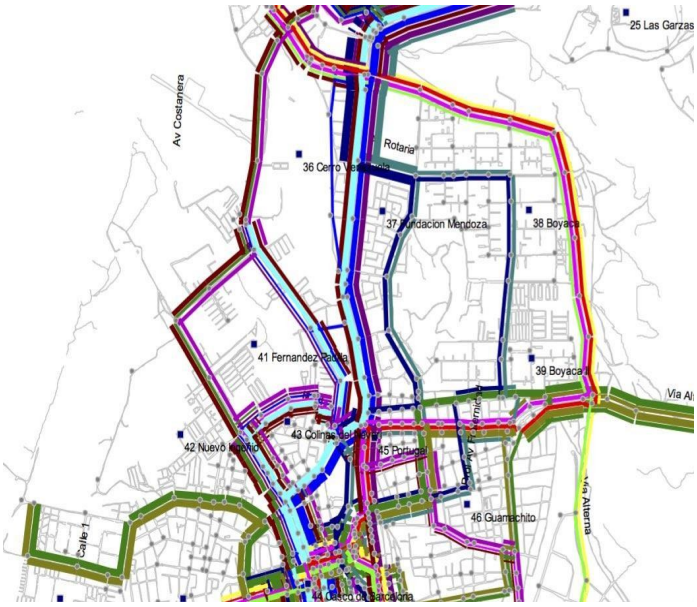


Рис. 3 Транспортная модель в системе TRANUS

Система может применяться в любом масштабе, от детальных городских до крупных столичных регионов, штатов или провинций, целых стран.

Транспортная модель очень гибкая и может представлять движения как пассажиров, так и грузов. Модель работает в единой мультимодальной сети и выполняет генерацию упругого отключения и комбинированный процесс разделения и назначения мод. Это единственная бесплатная модель транспорта, доступная сегодня. Все модели в системе используют модели логита с дискретным выбором, связанные между собой согласованным образом. Это включает в себя местоположение деятельности, выбор земли и, что особенно важно, выбор и назначение мультимодальных путей. Эта схема значительно превосходит обычные транспортные модели, основанные на равновесном назначении и отдельных частных / общественных режимах.

Программное обеспечение включает в себя мощный графический интерфейс пользователя с географическими координатами, объектно-ориентированную базу данных и явное представление сценариев. Мощные инструменты сетевого редактирования также включены. Данные могут быть импортированы или экспортированы в / из других баз данных и моделей.

Экономическая и экологическая оценка встроены в программное обеспечение и соответствуют моделям.

Программы работают на любой версии операционной системы Windows. Программное обеспечение и его исходный код можно бесплатно загрузить со страницы проекта Google Code. Подробная документация и учебные материалы доступны на веб-сайте TRANUS [5], а также примеры приложений на английском и испанском языках. Существует онлайн-форум [6] где пользователи делятся своим опытом с TRANUS.

TRANUS – это программное обеспечение с открытым исходным кодом под лицензией Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0.

После проведения анализа транспортных систем моделирования можно сделать вывод, что наиболее удобной и функциональной является транспортная система моделирования PTV VISUM. Однако программный комплекс EMME/2 схож по функционалу с PTV VISUM, но данное программное средство являются коммерческими и недешевыми для использования. Программные комплексы TRANUS являются также является удобными, функциональными и доступными, а также не требуют оплаты за свое использование, что немаловажно в современных условиях.

Список используемой литературы

1. Послание Президента Республики Казахстан - Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства», Астана, Акорда, 2012 год.
2. (https://www.itsa.org/its-america-forum-urban-smart-mobility-2019) дата обращения 13.09.2019
3. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М.Р. Якимов, Ю.А. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/TRANUS дата обращения 13.09.2019
5. http://www.tranus.com/ дата обращения 13.09.2019

6. https://groups.google.com/forum/#!forum/tranus дата обращения 13.09.2019

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ZIGBEE СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ OPNET MODELER

Хизирова М.А., Темырканова Э.К., Алданияров Б.Ж., Полушин М.Ю.
e-mail: hizirova73@mail.ru; elya_aipet@mail.ru; kazakhfilm27305@inbox.ru
Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Казахстан
Академия национальной безопасности РК, Казахстан

Аннотация: *Работа посвящена использованию инновационной технологии ZigBee IP при интеграции с интернетом и другими сетями на основе пограничных маршрутизаторов и других устройств, далее исследованию такой интегрированной сети на основе построения имитационной модели с использованием прикладной программы Opnet modeler для исследования ее характеристик на основе экспериментов проводимой на моделях.*

Технология ZigBee берет начало использования практически при разработке беспроволочных сетей преобразователей – датчиков, для современных интеллектуальных зданий, оборудования, позволяющих автоматически снимать данные счетчиков, защитные устройства, управляемые системы в производстве. Основными потребностями считаются: длительное занятие источников энергии преобразователей, малая цена, сжатость, разработка ячеистых сетей для интерфейса в среде большого количества преобразователей.

Такие представления потребностей привело к созданию IEEE 802.15.4 и ZigBee, являющихся стандартами, дающие простейшие, надежные, расширяемые, многоступенчатые беспроволочные сети с условиями содействия разнообразных приложений. В таблице 1 приведены некоторые параметры различных технологий организации маршрутизации в таких сетях

Таблица 1. Типы организации различных технологий маршрутизации

Виды технологии организации в сети маршрутизации маршрутизации сети	Широковещание	Ячеистая сеть	Маршрутизация по дереву	Явная маршрутизация
Максимальная длина маршрута (хопы)	до 30	до 30	до 10	до 5
Множественные получатели	да	нет	нет	нет

Точка - точка	нет	да	да	да
Эффективное использование полосы частот	нет	да	да	да
Эффективная полезная нагрузка	да	да	да	нет
Подтверждение приема	нет	да	да	да

В связи с этим актуальным является анализ различных методов организации маршрутизации и использование имитационного моделирования для определения характеристик таких сетей

Рассмотрим технологию организации маршрутизации методом широковещания, когда один из узлов может передать информацию большому числу узлов. Такой способ не требует обязательного доказательства приема (доведение не обеспечивается) и расходует немалые ресурсы сетей

Широковещательность выражает основание для организации различных непростых путей. Когда устройство узел передает информацию в виде вещания, она производит ретрансляцию со всеми смежными рутерами до установленного границы, как изображено на первом рисунке 1. Получив информацию любой узел, прибавляет надпись в особенную таблицу- Таблицу транслируемых транзакций (ТТТ) и понижает смысл место радиуса. Когда место радиуса доходит единичного размера, последующий обмен информацией прекращается. Таблица транслируемых транзакций предупреждает вторичное приобретение ретрансляции информации

В общем случае размеры таблицы бывают ограниченными на количество принимаемой и регистрируемой информации за единицу времени, при заполнении таблицы последующая информация не принимается. Сообщения излучаются очень медленно и поэтомуинтенсивно наполняют сеть в связи с этим необходимо их ограничение. В ретрансляции обычно принимают участие координаторы и маршрутизаторы

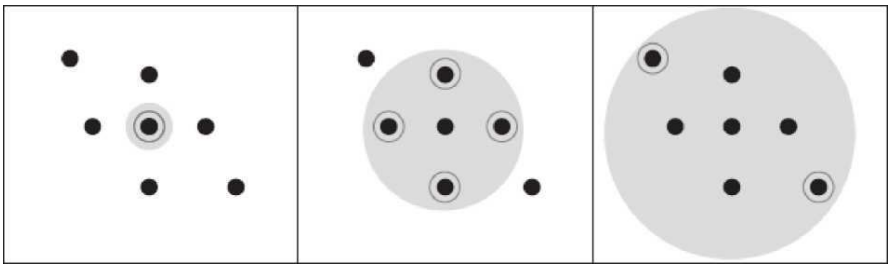


Рис.1 Методика передачи сообщений от одного узла другим узлам

Применяя бесспорную маршрутизацию направление информации устанавливается отправщиком. В этом случае маршрутизация информации устанавливает всю его линию, при неполной бесспорной маршрутизации линия свидетельствует отчасти.

Бесспорная маршрутизация сопровождается значительными издержками для беспроволочной передачи. Величина информации физической степени шаблона

802.15.4 равен 127 байтам. С учитыванием дополнительных затрат на протокол ZigBee необходимая загрузка колеблется около 100 байт. Когда бесспорная маршрутизация со значительной продолжительностью маршрута, необходимо основная загрузка возможна, уменьшена до 60 байт. Но при этом, бесспорная маршрутизация наличествуется в ZigBee, но протяженность маршрута ограничена всего 5 узлами, для того чтобы уменьшить дополнительные расходы.

Как видно из рисунка 2, в этой последовательности действий сеть выступает как продуманный граф. Граф, как, известно имеет ребра являющиеся различными по качеству их весов сигнала, передаваемого между ее узлами. Обычно, в составе пакета сохраняется вся сумма значений прошедших ребер.

Установление прохождения узлов принимается с трансляцииинформации от отправляемого узла. Например, приведенный рисунок 2 показывает, что первый узел посылает информацию узлу десять, который не является его соседом и к нему направление неизвестно, в связи с этим возникает необходимость нахождение правильного маршрута. Информация ретранслируется по всем направлениям и на каждом узле в конструкцию пакета прибавляется значение величины освоенного ребра графа. Необходимо заметить, что продолжительный маршрут с большей высококачественной взаимоотношением предпочтительнее, в связи с тем, что на вторичную передачу исчезнувшего пакета уходит большее время, чем на овладение излишнего узла в маршруте.

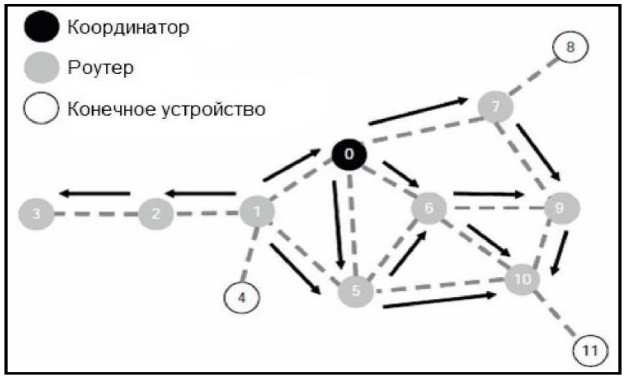


Рис. 2 Широковещательный поиск направления передачи пакетов

Для незатейливости рассмотрим одинаковые по значимости весов ребра графа сети. Тогда, получаем наикратчайший расстояние от узла один к узлу пять, и после к узлу десять. Десятый узел ожидает определенное момент времени, пока не соберет все сообщения и не найдет самое наименьшее. После узел десять посылает отзыв исходящему узлу. Далее, для узлов пять и один оставляются надлежащая регистрация в их табличке маршрутизации, для прочих узлов регистрация уничтожается. Большое число спящих или подвижных узлов, обслуживающих одним только роутером – 32. Координатор осуществляет деятельность по созданию сети, и кроме того показывает в то же время конфиденциальным средоточием Конфиденциальный центр определяет дипломатию неопасности и выполняет настраивание в процессе включения конструкции к сети. Спящие и подвижные

конструкции применяют порядки уменьшенного потребления энергии. Принято, что это данные узлы с батарейным потреблением энергии. Обыкновенно выполняющие, функции датчиков или контроллеров для конструкций исполнения. Число конструкций исполнения определяются необходимостью каждого используемого приложения. Спящие и подвижные конструкции применяют порядки пониженного потребления энергии

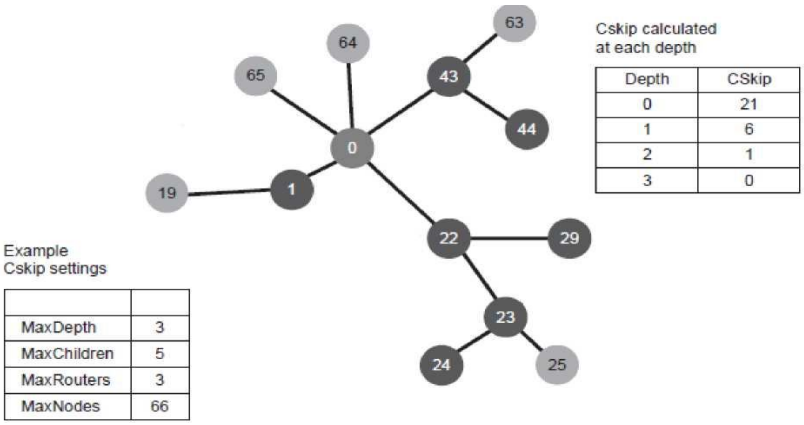


Рис. 3 Метод маршрутизации по дереву

Маршрутизация по дереву используется совместно со специальным методом адресации узлов сети. Следует отметить, что узлы сети ZigBee имеют несколько адресов – адрес MAC, присваиваемый изготовителем устройства (64 бита), а также короткий адрес сети (16 бит). Использование короткого адреса позволяет сократить служебный заголовок пакета, так как в пакете нужно передать адрес получателя и адрес отправителя.

Образуется симметричное дерево, корнем (нулевым уровнем) которого является координатор с адресом 0. Все роутеры, подключенные к координатору, составляют первый уровень дерева, а роутеры, подключенные к ним - второй, и т.д. Первый роутер, подключенный к координатору получает номер 0x0001, а второй роутер – номер достаточно большой, чтобы в дереве, образованном первым роутером все возможные дети могли быть пронумерованы. Таким образом, создается запас по номерам. Пример нумерации с заданными параметрами сети показан на рисунке 3.

Из недостатков организации подобной топологии и способа маршрутизации следует отметить ненадежность сети. При разрушении связи, ветка дерева станет изолированной и целостность сети нарушителя [3].

Рассмотрим методы имитационного моделирования для определения следующих характеристик сети скорости, памяти которая требуется для передачи нагрузки, величину задержки и среднее и текущие значения нагрузки при передаче информации по сети, когда мы имеем только одну ветвь дерева на рисунке 4 приведена построенная сеть на рабочем столе пакета прикладных программ Opnet Modeler 14.5.

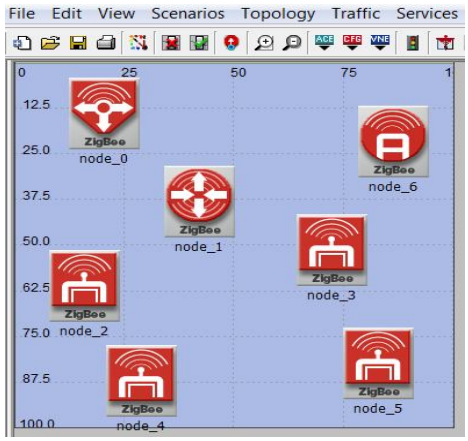


Рис. 4 Иммитационная модель простой сети ZigBee

Для получения результатов моделирования необходимо провести настройку оборудования, составляющую сеть ZigBee.

После настройки можно проводить имитационное моделирование, используя кнопки основного меню Opnet Modeler 14.5. Результаты моделирования можно увидеть на рисунке 5 скорости в сети и объема памяти на рисунке 6.

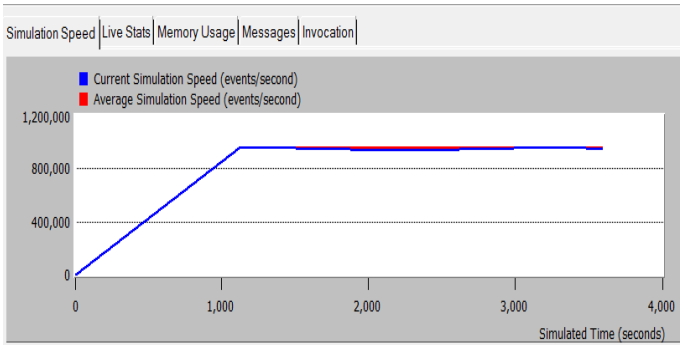


Рис. 5 Распределение скорости передачи информации

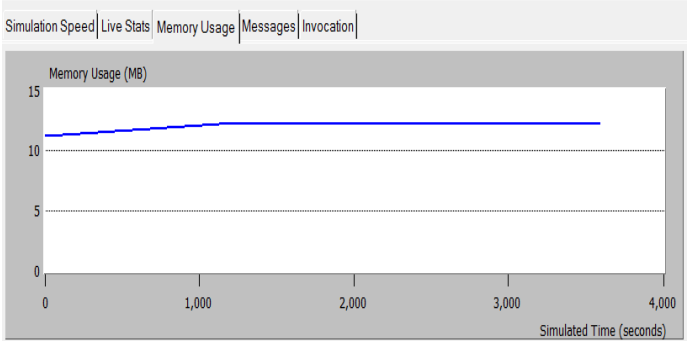


Рис.6 Распределение занимаемой памяти

Из рисунков 5 и 6 видно, что при моделировании через некоторое время устанавливается параметры как постоянные величины, подчеркивая о том, что в сети в течении модельного времени имеют устойчивый характер.

Литература

1. IT Guru Academic Edition. OPNET Technologies, 2005. http://www. opnet.com/services/university/itguru_academic_edition.html.
2. Якубова М.З. Исследование MPLS сетей на основе построения имитационных моделей. Высшая школа Казахстана №3 2016
3. Якубова М.З. Имитационное моделирование коммутированных ЛВС Высшая школа Казахстана №3, 2016
4. Сети нового поколения. Обзор проектов 2007. Технология и средства связи

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПОДБОРУ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РЕГИОНЕ ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ

Юничева Н.Р., Бостанбеков К.А., Алимова А.Н., Витковская И.С.
nadini@mail.ru, k.bostanbekov@norlist.kz, anic2002@mail.ru, irinas_vit@mail.ru
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан

Аннотация: *Проведены расчеты разности наблюдаемых и моделируемых метеорологических параметров для 4-х климатических сезонов за 2000-2016 годы. Данные наблюдений, находящиеся в свободном доступе, заимствованы из глобальных архивов Метеорологического Офиса Великобритании и лаборатории приповерхностной гидрологии Принстонского университета США. Граничные и начальные условия для региональной климатической модели задавались на основе набора данных реанализа ERA-Interim. Результаты численных экспериментов представлены в виде карт среднемноголетней сезонной изменчивости приземной температуры на уровне 2 м и осадков в пределах домена Центральная Азия.*

Ключевые слова*: климат, изменение климата, моделирование, схемы параметризации, приземная температура, атмосферные осадки*

Количественная оценка будущих климатических изменений, а также соответствующих последствий является актуальной задачей при современных изменениях климата и рисков, вызванных этими изменениями. Для решения задачи прогнозных оценок будущих параметров климата необходимо использовать численное моделирование климатической системы с помощью глобальных

климатических моделей, основой которых являются глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана [1].

Глобальные и региональные гидродинамические модели являются одним из основных инструментов для изучения изменений климата под воздействием антропогенных и природных факторов. Глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) используются для изучения прошлого и текущего климата, на их основе получены проекции будущих климатических изменений. МОЦАО постоянно совершенствуются, дополняются различными модулями, их пространственное разрешение в настоящее время еще недостаточно для корректного описания региональных особенностей атмосферных процессов, связанных с неоднородностями подстилающей поверхности, таких, как орография, характеристики почвы и растительности, очертания береговых линий и т.п. Для устранения этих недостатков при моделировании регионального климата применяют мезомасштабные гидродинамические модели, имеющие более высокое пространственное разрешение и учитывающие локальные климатообразующие факторы. Усовершенствование моделей климата требует формулирования более точных моделей конкретных физических процессов, определяющих динамику климатической системы.

Региональное моделирование климата состоит в интегрировании региональной климатической модели (РКМ) с использованием на боковых границах области исследования выходных данных глобальных климатических моделей. Региональная климатическая модель, для выбранного домена исследований, требует настроек путем варьирования эмпирических коэффициентов в схемах параметризации, использования различных схем, описывающих микрофизику, особенности подстилающей поверхности, потоки коротковолновой и длинноволновой радиации и т. п.

Методы исследования

Численные расчеты проводились для домена Центральной Азии, определенного научной группой Science Advisory Team (SAT). Территория выбранного региона обширна, простирается на тысячи километров по Евразии, содержит большое количество рек и озёр. Рельефность поверхности изменяется от высоких гор до низменностей, лежащих ниже уровнем моря. Включает несколько климатических зон, внутри которых приблизительно однородный климат по всей их протяжённости.

Одной из целей численных экспериментов является оценка того, насколько модель адекватно отражает процессы, происходящие в атмосфере, на суше и водной поверхности, при их взаимном влиянии, определение возможных причин возникающих ошибок, а также ограничения модели. Результаты наземных наблюдений используются для верификации модели, а моделирование, в дальнейшем, позволяет получить характеристики сред для неизученных ситуаций.

Результаты численных экспериментов по подбору схем параметризации микрофизических процессов и процессов в пограничном слое атмосферы, наилучшим образом описывающие компоненты климатической системы в регионе Центральной Азии, представлены в виде карт среднемноголетней сезонной

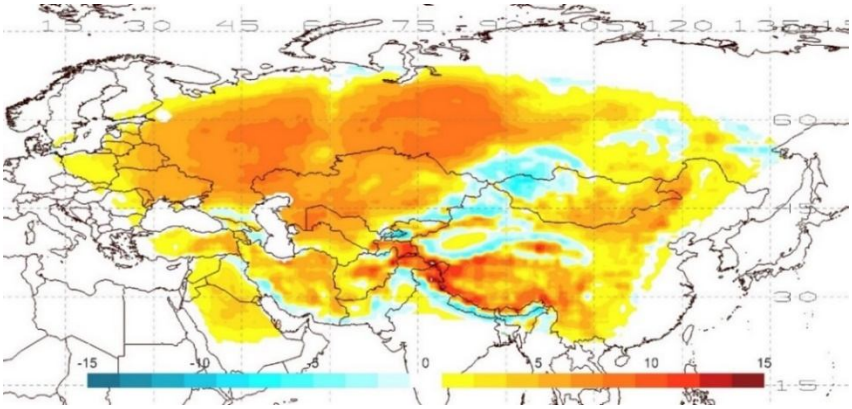
изменчивости приземной температуры и атмосферных осадков. Были рассчитаны и проанализированы разности наблюдаемых и расчетных полей для 4-х отдельно взятых климатических сезонов. В качестве данных наблюдений использовались два глобальных архива: данные Метеорологического Офиса, Великобритания (CRU - Climatic Research Units), с пространственным разрешением $0{,}5^0$ [2]; данные лаборатории приповерхностной гидрологии Принстонского университета США, с пространственным разрешением $0{,}25^0$ [3]. Граничные и начальные условия для региональной климатической модели задавались на основе набора данных повторного анализа ERA-Interim.

Подбор параметров выполнялся для региональной климатической модели WRF (Weather Research and Forecasting), являющейся системой для прогнозирования погоды и моделирования атмосферных процессов, пригодная как для оперативных, так и для исследовательских целей. Модель WRF представляет собой систему взаимодействующих модулей: модуль, обеспечивающий подготовку начальных и граничных данных. Система является эффективным инструментом для разработки методов ассимиляции данных, параметризации процессов подсеточного масштаба, прогноза погоды и моделирования регионального климата [4-7].

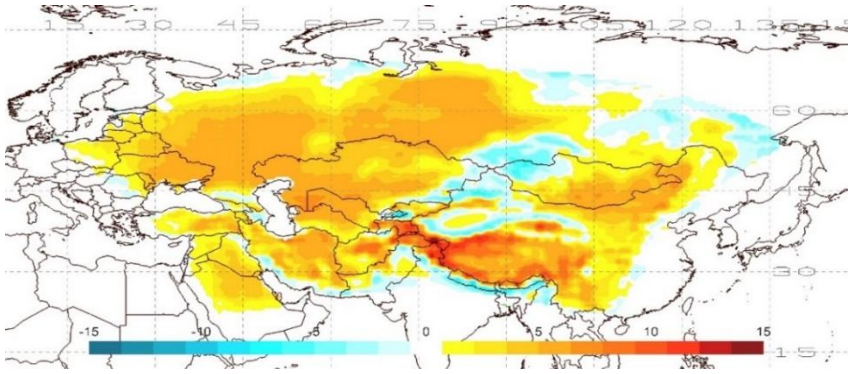
Рассматриваются три различных варианта задания параметров модели WRF:

- (1) микрофизика WSM6 в комбинации с YSU PBL схемой пограничного слоя;
- (2) комбинация схемы планетарного пограничного слоя MYJ PBL в сочетании с микрофизикой Томпсона (Thompson microphysics);
- (3) микрофизика, что и в варианте 2, но параметры пограничного слоя задаются по схеме YSU PBL.

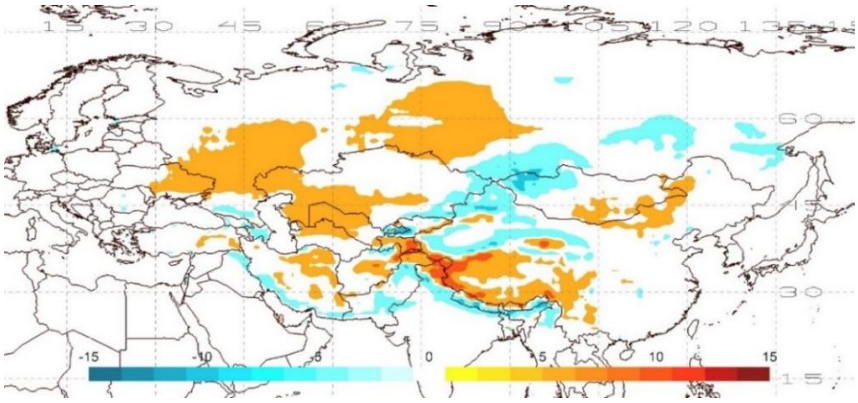
С целью оценки точности воспроизведения параметров климатической системы моделью РКМ проведен анализ разницы полей приземной температуры между данных наблюдений из архива CRU и расчетами по модели WRF с граничными и начальными условиями ERA-Interim для вышеуказанных схем параметризации для зимнего, осеннего и летнего периодов. Результаты проведенного анализа представлены на рисунках 1-3.



а) схема параметризации 1

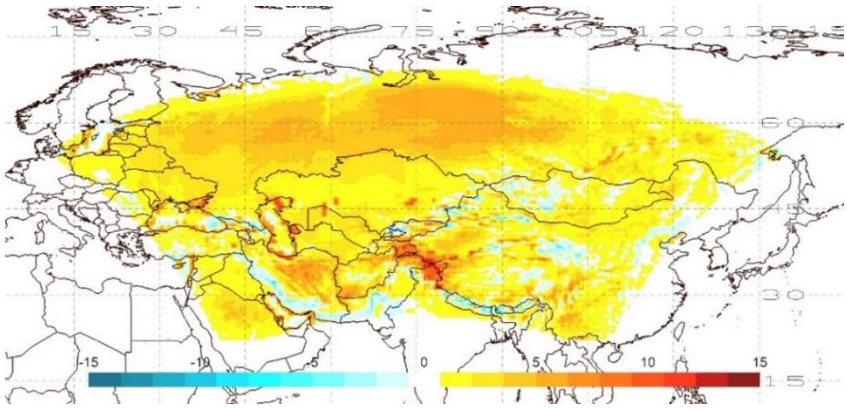


б*) схема параметризации 2*

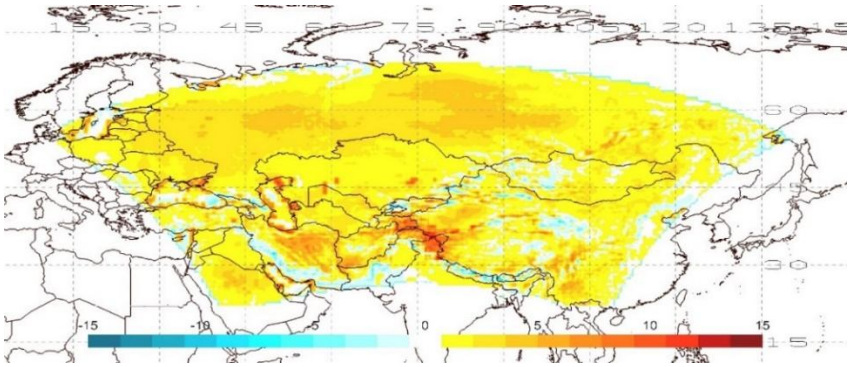


в) схема параметризации 3

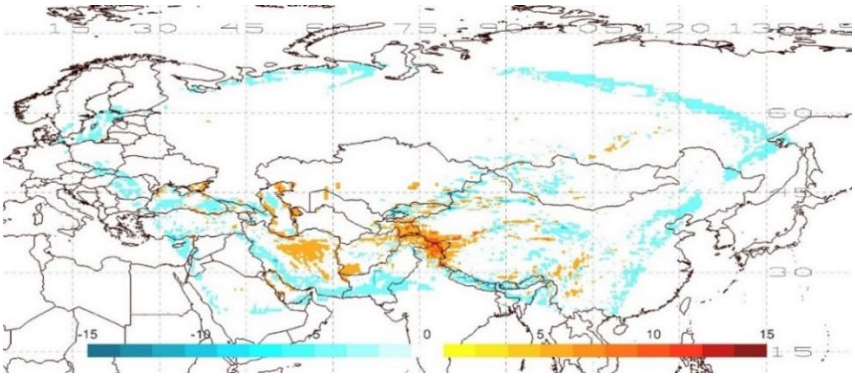
Рис.1 – Разница расчетной и наблюдаемой среднемноголетней приземной температуры (2000 -2016 гг.) в зимний период (декабрь, январь, февраль)



а) схема параметризации 1

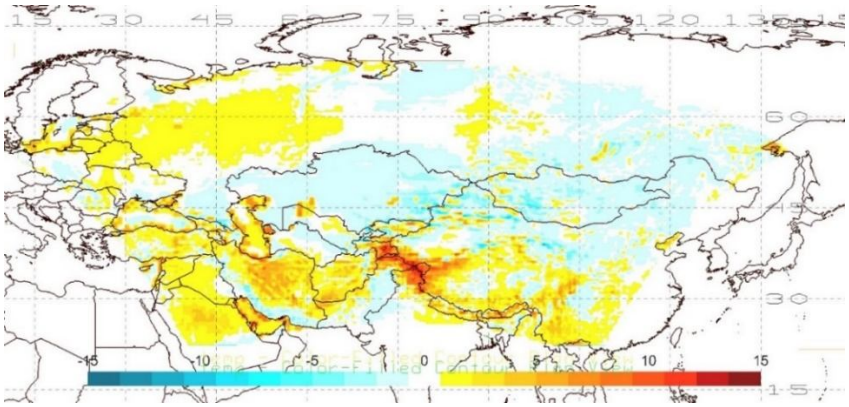


б) схема параметризации 2

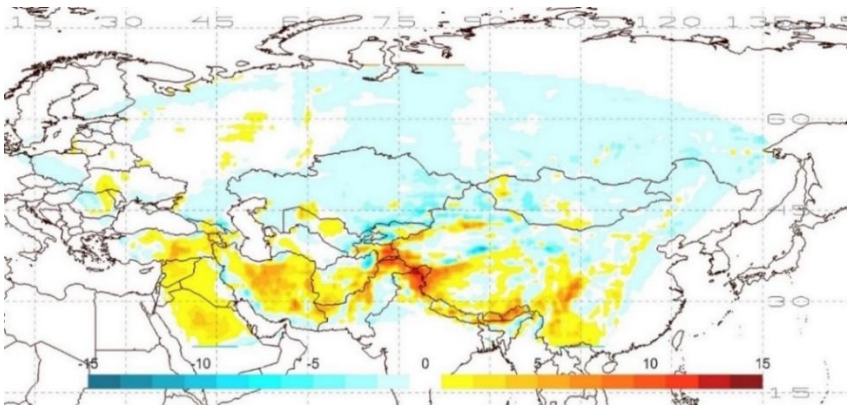


в) схема параметризации 3

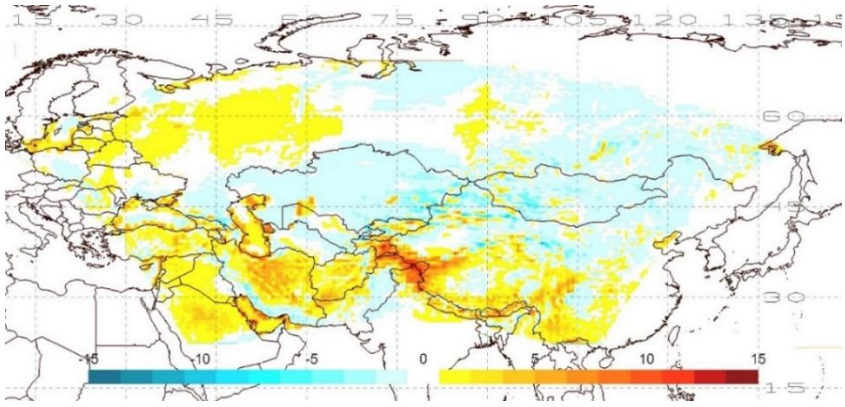
Рис. 2 – Разница расчетной и наблюдаемой среднемноголетней приземной температуры (2000 -2016 гг.) в осенний период (сентябрь, октябрь, ноябрь)



а) схема параметризации 1



б) схема параметризации 2



в) схема параметризации 3

Рис. 3 – Разница расчетной и наблюдаемой среднемноголетней приземной температуры (2000 -2016 гг.) в летний период (июнь, июль, август)

Для всех проведенных численных экспериментов с различными схемами параметризации получено превышение температуры приземного слоя (положительной разности расчетных и наблюдаемых данных) в зимний период на 2−3°С в северных регионах рассматриваемого домена. Возможно эта ситуация вызвана тем, что данные реанализа ERA-Interim, которые используются в качестве граничных условий для региональной модели, сами по себе завышают температуру приземного слоя в зимний период.

Это связано с тем, что в холодное время года, когда земная поверхность покрыта снегом, меняется альбедо для длинноволновой и коротковолновой радиации, а эти процессы к настоящему времени не столь хорошо изучены. Попытка параметризации этого процесса, предпринятая в работе [8], не привела к значимому уменьшению разницы расчетных и измеренных температур. Завышенная приземная температура в горных районах связана с тем, что там практически отсутствуют наземные метеорологические станции, следовательно, не представляется

возможным в настоящее время получить объективную информацию на основе наблюдательной сети. Это также объясняется и высокой изменчивостью орографии (резким изменением высоты в горных районах), а также интенсивными конвективными процессами с образованием облачности. Как видно из рисунка 1, в холодный сезон наилучшее соответствие расчетных и наблюдаемых значений получено в численном эксперименте с использованием схемы параметризации 3 (эксперимент 3).

В осенний и весенний период также наблюдается положительная разница расчетных и наблюдаемых температур для схем параметризации 1 и 2, в меньшей степени. Применение схемы параметризации 3 позволило получить наиболее удовлетворительный результат (рисунок 2).

Для летнего периода наилучшее соответствие модельных расчетов и данных наблюдений получено при использовании схемы параметризации 2.

Результаты моделирования на основе региональной климатической модели сопоставлены с набором данных наблюдений для сезонной среднемесячной температуры воздуха и осадков. Также проведено статистическое сравнение результатов численных экспериментов с данными из набора наблюдений CRU, рассчитаны среднеквадратическая ошибка и коэффициент корреляции для всего домена Центральная Азия и трех его поддоменов.

Субдомены, были выбраны на основе классификации климата предложенной в работе [8]. Первый поддомен – это территория с влажным и холодным континентальным климатом на западе Европы и сухим, очень холодным суббореальным климатом в средних и восточных районах Сибирского плато. Второй субдомен представляет собой сухую среднеширотную пустыню и степь, т.е. засушливый и полузасушливый климат в середине Центральной Азии. Третий поддомен охватывает Гималаи и Тибетское плато и представляет климат высокогорья.

Сравнение данных повторного анализа ERA-Interim и результатов расчетов с помощью РКМ показали, что модель лучше воспроизводит поле приземной температуры, особенно в северной части домена в холодный период. Расчеты по региональной климатической модели дают более низкие поля температур, чем данные наблюдений в течение всех сезонов вокруг горных и высокогорных областей, таких как Гималаи и плато Тибета. Отклонения расчетной приземной температуры от наблюдаемой, видимо, определяется тем, что входные данные повторного анализа ERA-Interim уже содержат ошибки, что в свою очередь связано с очень редкой наблюдательной сетью в горных районах и отсутствием надежных данных. В других частях домена, региональная модель климата дает лучшие результаты по отношению к данным наблюдений за температурой, чем данные повторного анализа.

Выводы

Таким образом, проведено тестирование способности модели WRF воспроизведения наблюдаемых параметров климатической системы таких, как температура приповерхностного слоя воздуха на уровне 2 м и осадков в пределах домена Центральная Азия. Оценка сезонной климатологии выбранного региона выполнена для традиционных сезонов года (зима, весна, лето, осень). В качестве

начальных и граничных условий для региональной модели климата за период 2000 - 2016 гг. были использованы данные ERA-Interim реанализа.

Проведен ряд численных экспериментов на высокопроизводительном вычислительном кластере для тестирования различных схем параметризации микрофизики и процессов, происходящих в пограничном слое с целью выбора такой схемы, которая наилучшим образом воспроизводит основные характеристики климата. Рассмотрены три комбинации схем микрофизики и пограничного слоя: одномоментная схема микрофизики Томпсона, использующая 5 классов гидрометеоров (вода в облаках, осадки, лед в облаках, снег и снежная крупа) в сочетания с двумя схемами пограничного слоя атмосферы (YSU и MYJ) и схема WRF Single Moment с 6 классами гидрометеоров в сочетании со схемой YSU.

Из анализа результатов моделирования с использованием региональной климатической модели WRF следует, что модель адекватно описывает атмосферные процессы климатического масштаба и количественно воспроизводит пространственно-временные вариации (многолетние, сезонные, внутригодовые) основных параметров климатической системы. Исключение составляют районы с орографическими неоднородностями - горные и высокогорные районы, что можно объяснить редкостью наблюдательной сети.

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод о том, что данные моделирования с использованием схем параметризации для пограничного слоя MYJ PBL и микрофизики Thompson лучше, чем другие, рассмотренные в настоящем исследовании, согласуются с данными наблюдений за осадками и температурой приземного слоя.

Следует отметить, что численная климатическая модель WRF с подобранными схемами параметризации может быть использована для моделирования проекций будущего климата на территории домена Центральная Азия для различных сценариев содержания парниковых газов в атмосфере.

Благодарности

*Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан AP*05135848.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие. – Труды ГУ ВНИИГМИ. 2010. 175, 43-51

2. https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.00/

3. http://hydrology.princeton.edu/data/

4. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W. & Powers, J. G. (2005). A description of the advanced research WRF version 2. *NCAR/TN–468+STR NCAR TECHNICAL NOTE*. 100

5. Klemp, J. B., Skamarock, W. C. & Dudhia, J. (2007). Consective nonhydrostatic equations. *Mon. Wea. Rev., 135*, 20-36

6. Michalakes, J., Dudhia, J., Gill, D., Henderson, T., Klemp, J., Skamarock, W. & Wang: W. (2005). The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. *ECMWF Workshop on the Eleventh Workshop*. 156 – 168

7. Michalakes, J., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp, J., Middlecoff, J. & Skamarock, W. (2001). Development of the Next Generation Regional Research and Forecast Model. *Developments in Teracomputing: The ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. 269-275

8. Tugba Ozturk, M. Tufan Turp, Murat Türke,M. LeventKurna Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5 // Atmospheric Research. – 2017. –Vol.183. – PP. 296-307

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ С СЕТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ

Юнусов Р.[1,2], Мерембаев Т.[1,3]
e-mail: yunussov@gmail.com, timur.merembayev@gmail.com
[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан
[2]Satbayev University, Алматы
[3]Международный университет информационных технологий, Алматы

Аннотация. *В данной работе рассматривается проблема сбора и хранения данных с технических устройств, подключенных к единой сети управления и мониторинга. В качестве технического устройства рассмотрена система солнечного нагрева воды. В основном данные системы не содержат датчиков сбора информации о работе системы или датчиков управления системы. На сегодняшний день данные являются очень ценными для моделирования, предсказания и управления системой, поэтому на производстве происходит цифровизация устройств, которые позволят оптимизировать процесс работы. В исследовании рассматривается проблема сбора и хранения данных с систем, которые генерируют большие объемы данных с высокой частотой по времени. Описаны существующие решения для решения данной проблемы. Выбрано решение на базе фреймворка Orleans, которая оптимально подходит для поставленной задачи.*

ВВЕДЕНИЕ

В индустриальных технологических процессах количество данных, поступающих от одного агрегата могут достигать 100 МБ в сутки. При этом количество сенсоров, которыми оснащен агрегат, как и количество агрегатов в целом не ограничено. В связи с такими условиями возникают задачи построения такой архитектуры информационной системы, которая будет способна горизонтально масштабироваться с целью увеличения пропускной способности при увеличении потока данных, и уменьшению расходуемых энергетических ресурсов при снижении нагрузки [1, 2, 3].

Один гелиоколлектор может быть оснащен неограниченным количеством сенсоров, которые могут работать в различных режимах частоты съема информации, а также передачи ее на пульт управления. При этом на сегодняшний день устоявшимся архитектурным решением является оснащение агрегата центральным контроллером с заданными технологическими характеристиками для съема данных с сенсоров, агрегации их и передачи на центральный пульт управления или же нахождения в пассивном режиме и предоставления интерфейса доступа к накопленным данным в режиме очереди. При активном режиме - возникают необходимости предварительно настройки оборудования и указания точки назначения передачи данных. При пассивном режиме - контроллер собирает данные с сенсоров в оперативный банк данных до тех пор, пока не исчерпается память, после чего новые данные начинают вытеснять более старые по правилу очереди - FIFO.

Выбор контроллера для агрегата является важным решением. Необходимо сопоставить режимы эксплуатации с допустимыми режимами работы контроллера. Например, технологической оборудование, работающее в режиме высокой вибрации (например, турбины) требуют особых видов контроллеров, способных выдерживать физическое воздействие длительный промежуток времени. Те же вопросы возникают с температурными режимами, режимами влажности, давления, агрессивности окружающей среды.

Гелиоколлектор - специализированный агрегат по преобразованию солнечного света в тепло. Технологическое устройство на сегодняшний день имеет ряд имплементаций, начиная с простейших и заканчивая высокоинтеллектуальными агрегатами, способными подстраиваться под заданный температурный режим, оснащенные механизмами защиты от перегрева и переохлаждения [4].

На сегодняшний день становится возможным увеличения КПД каждого гелиоколлектора, путем учета параметров окружающей среды, географического положения, а также мониторинга внутреннего состояния путем съема параметров с подключенных сенсоров.

В рамках заданного научного исследования - поставлена задача создания централизованной системы сбора информации распределенных территориально гелиоколлекторов.

Сбор данных позволит решить следующие вопросы:

– своевременное определение неисправностей и уведомление пользователя о необходимости сервисного обслуживания;

– построение прогнозных моделей эффективности путем территориальной интерполяции.

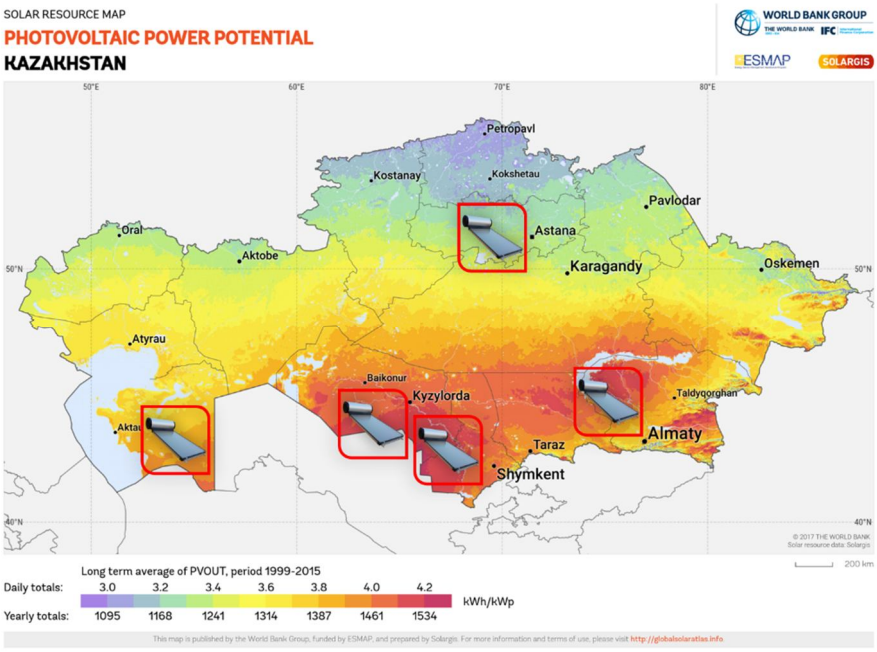


Рис. 1. Потенциальное расположение сети коллекторов по территории Казахстана

Сложность в реализации системы заключается в потенциальном количестве единовременно активных сессий между контроллером агрегата и сервером обработки данных. Любое аппаратное обеспечение имеет свои границы возможных нагрузок и режимов эксплуатации.

Типичным, например, параметром единовременно поддерживаемых сетевых соединений для штатной операционной системы - является 65 535 [5, 6]. Соответственно, для того, чтобы осуществить соединение следующего агрегата - необходимо что бы была закрыта сессия предыдущего. В таком режиме возникают условия отказа в соединении и сброса буфера данных, планируемых для записи. Для решения этих проблем организуется сеть вычислительных ресурсов, соединенных в единую информационную систему, и представляющую из себя на современном языке - облако. При этом в рамках облака ставится задача динамического пропорционального распределения нагрузки и отказоустойчивости с возможностью подключения дополнительных вычислительных ресурсов в случае увеличения количества единовременных сессий [7].

Вторым примером организационной сложности имплементации такой информационной системы является выбор архитектуры хранилища данных. Исходя из требований к индустриальным технологическим процессам - хранилище должно отвечать критериям:

- высокой доступности;
- отказоустойчивости.

АРХИТЕКТУРА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

На сегодняшний день в условиях задач интернета вещей стало очевидным неприменимость классических реляционных моделей хранения информации.

Реляционные модели хорошо справляются с нормализацией данных, борьбой с аномалиями и потерей целостности. Однако плохо демонстрируют свои возможности в части высокой доступности и эффективного хранения. Поэтому появляются такие решения как колонка – ориентированные хранилища, граф – ориентированные хранилища, документ – ориентированные хранилища, ключ-значение, и хранилища временных рядов [8]. Каждое из этих видов хранилищ по-своему используют особенности аппаратной части, возможности операционной системы и призваны решать определенную узкую задачу, которую они решаю лучше других методов. Понятно - что для задачи хранения данных сенсоров с различных агрегатов - первоочередной задачей стоит - эффективный механизм сбора и записи данных в хранилища информации. При этом данные поступают обязательно в хронологическом порядке, объем этих данных может быть бесконечно велик, интенсивность поступления данных так же стремится к бесконечности. Соответственно - необходимо решение, способное к бесконечной горизонтальной масштабируемости. Таким образом - если один магнитно-механический жесткий диско способен к максимальной пиковой отдачи/принятии данных в 100МБ в секунду, то требования к записи в 1000МБ в секунду ставят необходимость использования 10 жестких дисков единовременно.

На текущий момент существуют множество различных решений для реализации заданной информационной системы. Например, система хранения данных InfluxDB, призванная использовать механизмы хранения хронологических данных. Особенностью данной системы является физическая модель хранения данных и способность к масштабированию и распределению данных на разрозненных аппаратных ресурсах. Вторым примером, который мог бы быть применено это фреймворк (набора библиотек и технологического окружения) Akka, построенный на инфраструктуре JVM. Фреймворк Akka реализует предложенную еще в 70-х годах модель агента. Основная суть - это абстракция выполняемой функции от физического расположения вычислительного ресурса, что позволяет увеличивать количество агентов исхода из заданных требований к производительности. Модель агента была реализована во множестве сред и языков программирования. Многие из них по сей день живут и развиваются, применяются на площадках реализации архитектуры высоких нагрузок. С такой точки зрения - упор на распределенные вычисления был даже создан специализированный функциональны язык Erlang, получивший широкое распространение в задачах телекоммуникаций и на сегодняшний день показавший высокую результативность в задачах организации вычислительных сред для интернета вещей.

ФРЕЙМВОРК ORLEANS

В рамках текущего исследования было принято решение использования решения на базе фреймворка Orleans [9, 10, 11]. Одним из преимуществ этого фрейморка, разрабатываемого компанией Microsoft и сейчас имеющего статус проекта с открытым исходным кодом - является использование широко распространённого языка программирования C#. Язык C# является наследником языка Си. Программы, написанные на нем, выполняются виртуальной машиной DotNet. Язык обладает лаконичностью и всеми современными инструментами, и

техниками написания программных кодов, включая возможность использования низкоуровневых приемов программирования - работа с указателями.

Orleans - это специализированная система распределенных вычислений, рассчитанная на высокие нагрузки, обладающая свойствами отказоустойчивости. Реализует модель агента, при этом называет его виртуальным агентом, так как местоположение и состояние агента не известно. Каждый агент может находиться в двух состояниях - активное/неактивное

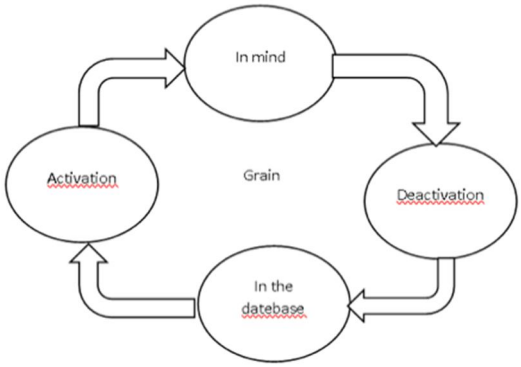


Рис. 2. График состояний объектов

Процесс активации каждого агента является простым запросом его по идентификатору. Если объект не существует в информационной среде он будет создан. При необходимости агенты удаляются из памяти, тогда их состояние трактуется как неактивное

Таким образом, даже в случае если одна из машин информационной инфраструктуры выходит из строя, и все агенты, находящиеся на этой машине, пропадают, то при запросе их по их идентификационным номерам - они будут воссозданы на оставшихся машинах.

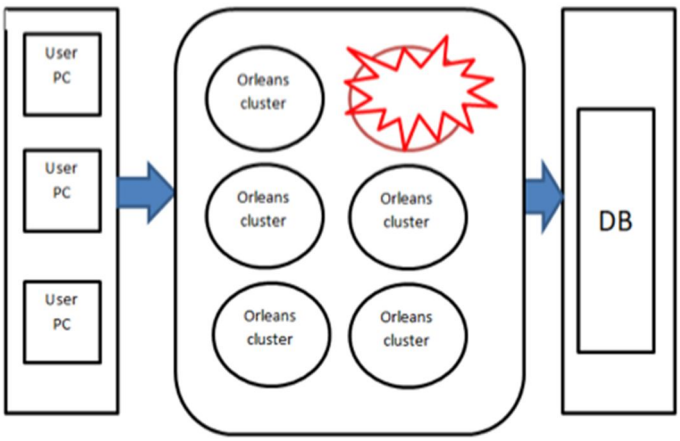


Рис. 3. Ситуация потери вычислительного узла

Фреймворк является полностью асинхронным и осуществляет обмен данными на базе протоколов TCP/IP между вычислительными узлами в мультиплексируемом режиме. Каждый агент выполняется в однопоточном режиме, что защищает его он ситуаций не консистентного состояния.

Таким образом фреймворк позволяет хранить высоко динамичную инфраструктуру объектов информационной системе в оперативной памяти всех вычислительных ресурсов, задействованных в работе. Организация доступа к этим объектам осуществляется путем запроса их по идентификационному номеру, которые может быть, как простым числом, так и более сложной формой типа GUID и комбинаций. Организация хранения состояния объектов в персистентном хранилище абстрагирована посредством имплементаций различного рода, начиная от реляционных СУБД и заканчивая документ-ориентированными и даже пользовательскими решениями, реализующими интерфейс чтения/записи данных

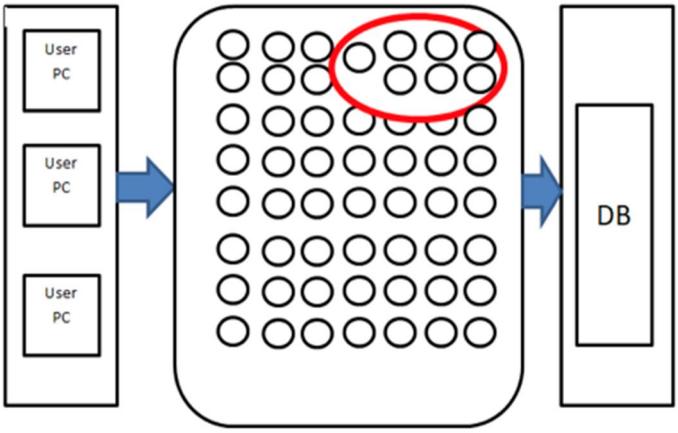


Рис. 4. Архитектура Orleans на самом верхнем уровне

Архитектура такого решения базируются на 2 основных типах сущностей - это атомарный объект или же атомарная очередь сообщений. Фреймворк позволяет абстрагироваться от сложности распределенного хранения этих объектов на различных серверах и сконцентрироваться на бизнес процессе, который мы осуществляем.

В обычных условиях, без использования фреймворка программисты сталкиваются с проблемой узких мест, которые из себя представляют СУБД

Какой бы она не была производительной - всегда наступал момент, когда количество запросов на запись было гораздо больше, чем физическое устройство могло обслужить.

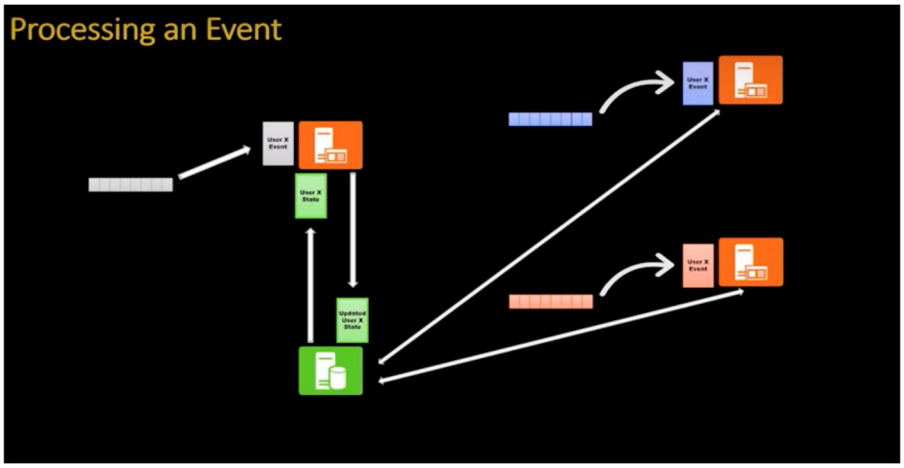


Рис. 5. Процесс сбора данных от различных устройств

Из изображения видно - что СУБД становится явным узким местом, которое может привести к не консистентному состоянию системы, так как устройств этих могут быть сотни тысяч, запросов может быть в 10 раз больше, чем самих устройств

Очевидно, что необходимо новое решение, позволяющее решить эту проблему, как показано на следующем изображении.

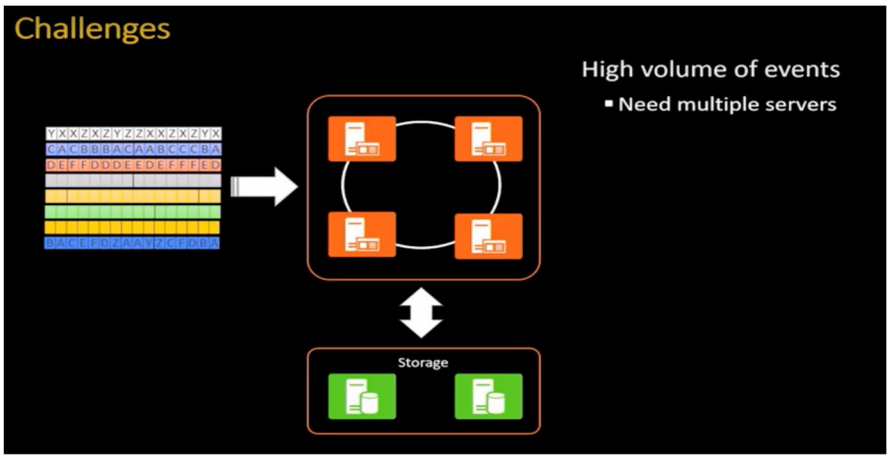


Рис. 6. Концептуальная схема решения проблемы неустойчивости системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фреймворк позволяет оперировать концепцией объектно-ориентированного программирования без необходимости вдувания в подробности реализации той или иной архитектуры хранилища данных. В данном случае - фреймворк является реализацией как бизнес модели, так и хранилища данных в одном лице. Данные, попадающие в информационную инфраструктуру гарантированное находятся в консистентном состоянии в любой момент времени. Чтение данных и вычисление производных осуществляется с использованием всех вычислительных ресурсов, активных на данных момент времени. Таким образом - система может

функционировать с единым компьютером, обслуживающим запросы нескольких гелиоколлекторов, так и с неограниченным количеством гелиоколлекторов путем подключения дополнительных вычислительных ресурсов и присоединения их к вычислительному кластеру. В случае же обратного отката (уменьшения количества гелиоколлекторов в системе), в системе достаточно просто отключить избыточные машины, входящие в кластер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Amirgaliyev, R. Yunussov, O. Mamyrbayev Optimization of people evacuation plans on the basis of wireless sensor networks, 2016.
2. J. Wilson, E. Redmond, Seven Databases in Seven Weeks, 2012.
3. O. Andreassen, F. Marazita, M. Miskowiec, Upgrade of the CERN RADE framework architecture using RabbitMQ and MQTT, 2017.
4. Y. Amirgaliyev, T. Merembayev, M. Kunelbayev. Dynamic simulation of a solar hot water heating system for Kazakhstan climate conditions. 14th International Conference on Electronics Computer and Computation, ICECCO 2018, pp. 206-2012.
5. S. Burckhardt and T. Coppieters. 2018. Reactive Caching for Composed Services: Polling at the Speed of Push. Proc. ACM Program. Lang. 2, OOPSLA, Article 152 (November 2018), 38 pages. https://doi.org/10.1145/ 3276522
6. P. Bernstein. Actor oriented Database Systems. 34th International Conference on Data Engineering, IEEE, 2018
7. P. Bernstein, S. Burckhardt, S. Bykov, Natacha Crooks, Jose M. Faleiro, Gabriel Kliot, Alok Kumbhare, Muntasir Raihan Rahman, Vivek Shah, Adriana Szekeres, and Jorgen Thelin. 2017. Geo-Distribution of Actor-Based Services. Proc. ACM Program. Lang. 1, OOPSLA, Article 107 (October 2017), 26 pages. https://doi.org/10.1145/3133931
8. A. Rabiee, Analyzing Parameter Sets For Apache Kafka and RabbitMQ On A Cloud Platform, 2018.
9. S. Bykov, A. Geller, G. Kliot, J.R. Larus, R. Pandya, J. Thelin Orleans: cloud computing for everyone, 2011.
10. P.A. Bernstein, S. Bykov, A. Geller, G. Kliot, J. Thelin Orleans: Distributed Virtual Actors for Programmability and Scalability, 2014.
11. S. Bykov, A. Geller, G. Kliot, J.R. Larus, R. Pandya, J. Thelin Orleans: A Framework for Cloud Computing, 2010.

Содержание

Секция 1. Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления. Моделирование и оптимизация сложных систем и бизнес процессов. Вычислительная математика, численный анализ и программирование, математическая логика. Теория статистики. Статистические методы		6
Akhmet M., Fen M.O., Tleubergenova M.A., Zhamanshin A.U.	UNPREDICTABLE SOLUTIONS FOR A SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS	7
Baimakova U.Zh., Abduraimova B.K., Zakirova A.B.	RESEARCH AND ANALYSIS OF WEB APPLICATION SECURITY METHODS	13
Berdyshev A.S., Blieva D.N.	CONSTRUCTION OF FUNDAMENTAL SOLUTION SYSTEM FOR DYNAMIC POROELASTICITY PROBLEM USING LAPLACE-FOURIER TRANSFORM.	23
Dyusembina Z.K.	MODIFICATION OF THE QUASILINEAR CONTROL SYSTEM OF BIOMEDICINE	31
Ibragimov N., Kongratbayev K., Amangeldiyeva A.	ELECTRONIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM IN EDUCATION SECTOR	44
Iskakova A., Zhusupbekov S., Wojcik W., Omirbekova Zh.	RESEARCH AND ANALYSIS OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF COAL AND BIOMASS	51
Jenaliyev M.T., Ramazanov M.I., Yergaliyev M.G.	ON THE COEFFICIENT INVERSE PROBLEMS OF HEAT CONDUCTION IN A DEGENERATING DOMAINS	56
Kantureyeva M.A., Zakirova A.B., Akhmetova A.Zh.	PEDESTRIAN TRAFFIC SIMULATION	59
Meirambekkyzy Zh., Mussabaev R.R.	AUTOMATIC DEVELOPMENT OF TOPIC DICTIONARIES OF SOCIALLY SIGNIFICANT CONCEPTS	65
Oralov E.M.	CONTENT LANGUAGE INTEGRATED LEARNING	70
Sembiyev O.Z., Kemelbekova Zh.S., Umarova Zh.	CALCULATIONS OF EXCESS LOAD ON THE NETWORK	72
Shakenova A., Shakenova R.	MODELING INVESTMENT RISKS	81

Sotnyk M.I., Telizhenko O.M., Drozdenko O.O., Baistriuchenko N.O., Koplyk I.V., Abdildayeva A.A., Zhukabayeva T.K.	SIMULATION OF HEAT AND ELECTRICITY CONSUMPTION BY SEPARATE ENTITIES BASED ON OPERATIONAL MONITORING SUBSYSTEMS	86
Syzdykov M.	SOLUTION TO P-NP PROBLEM	91
Tunçbilek E., Arici M.	SOLAR RADIATION CURVE FITTING BY USING POSITIVITY PRESERVING CUBIC SPLINE INTERPOLATION	96
Zhampeissova N.A.	CONDITIONS AND ASPECTS OF USE OF MULTIMEDIA TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TRAINING	103
Алимхан К., Тасболатұлы Н.	АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРГЕ КЕҢ АУҚЫМДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОЛАР ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕН ҚҰРУ	108
Алимхан К., Тасболатұлы Н., Ерденова А.К., Ахметкалиева А.С.	АЙНЫМАЛЫ УАҚЫТ КЕШІГУІ БАР ШЫН МӘНІНДЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ШЫҒЫСЫН КҮЙ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ІЗГЕ ТҮСІРУ	117
Ахмет М.У., Дауылбаев М.К., Мирзакулова А.Е.	ҚҰРАҚ-ТҰРАҚТЫ АРГУМЕНТТІ СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН СЫЗЫҚТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУ ҮШІН КОШИ ЕСЕБІ ШЕШІМІНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ЖІКТЕЛУІ	131
Бакирова Э.А., Асанова А.Т., Агайдарова А.	ПАРАБОЛАЛЫҚ ТЕКТЕС ИНТЕГРАЛДЫҚ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН БАСҚАРУ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІЛІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ	138
Садыков М.П.	ЖЕРАСТЫ УРАН ҰҢҒЫМАЛАРЫН ШАЙМАЛАУ ПРОЦЕСІНІҢ ЖОҒАРЫ ТИІМДІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН 3D-МОДЕЛЬДЕУ	148
Айтчанов Б.Х., Тергеусизова А.С.	ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА	152
Ахмеджанов А.Х., Караданов Т.К.	ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	168
Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Оналбеков М.А.	ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ САНКЦИЯМ	174

Аязбаева А.М., Иманбердиев К.Б., Касымбекова А.С., Шарипов К.С.	ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ	180
Байшемиров Ж.Д., Жанбырбаев А.Б., Адил Н., Баймурзаев Д.Д.	ОБ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ	182
Бекмаганбетов К.А., Нурсултанов Е.Д., Төлеуғазы Е.	ПОРЯДОК ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ПОПЕРЕЧНИКА КЛАССА НИКОЛЬСКОГО-БЕСОВА СО СМЕШАННОЙ МЕТРИКОЙ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ ЛОРЕНЦА	187
Бердышев А.С., Хасанов А.Х., Рыскан А.Р.	РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА-ДИРИХЛЕ ДЛЯ ВЫРОЖДАЮЩЕГОСЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ	197
Беркимбаева С.Б., Дальбекова К.С., Гусманова Ф.Р., Искакова А.К	УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА КОНЕЧНОМ ОТРЕЗКЕ ВРЕМЕНИ	205
Битиманова С.С., Абдилдаева А.А., Шукирова А.К.	СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	209
Викентьев А.А., Серов М.С., Бериков В.Б., Черикбаева Л.Ш., Тулегенова Б.А.	КОЛЛЕКТИВНЫЕ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МНОЖЕСТВ ФОРМУЛ *N*-ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ	219
Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г., Терехов А.Г., Джаксылыкова А.Б.	КРИВИЗНА ФОРМАНА-РИЧЧИ В ТЕКСТУРНОМ АНАЛИЗЕ ДДЗ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	234
Жукабаева Т., Абдилдаева А., Тураев Ш., Марденов Е.	РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРИПТОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ	239
Калижанова А.У., Ахметов С.С., Набиева Г.С.	МЕТОД ИТЕРАТИВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	247
Касымбек Н.М., Маткерим Б., Лебедев Д.В., Иманкулов Т.С., Ахмед-Заки Д.Ж.	ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МНОГОФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА GMRES	253

Кенжебек Е.Г., Иманкулов Т.С., Маткерим Б., Ахмед-Заки Д.Ж.	ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГОНКИ ДЛЯ 2D УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	261
Кудайкулов А., Ташев А.А., Аршидинова М.Т., Бегалиева К.Б.	ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА.	271
Мансурова М.Е., Мукимбеков М.Ж., Накибаева М.Т.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ В РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МАССИВОВ	279
Набиева Г.С., Калижанова А.У., Кожасбаева А.	МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	285
Нуртазин А.Т.	ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНО ЗАМКНУТЫЕ ПРИМАРНЫЕ ГРУППЫ	294
Пирожников А.Г., Дюсенбаев Д.С.	НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ ТЕОРЕМЫ ВИЛЬСОНА	301
Родионов А.С.	К РАСЧЁТУ ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ И ПОЛУЧЕНИЮ ПОЛИНОМА НАДЁЖНОСТИ СЛУЧАЙНОГО ГРАФА. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	304
Сансызбай Л.Ж.	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	314
Темирбекова Л.Н.	РЕГУЛЯРИЗАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГЕЛЬФАНДА-ЛЕВИТАНА-КРЕЙНА	321
Тулешов А.К., Кошеков К.Т., Шадыманова А.А.	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ЗЕРНОХРАНИЛИЩАМИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СИЛОСАМИ	322
Хисамиев З.Г.	КОМПАНЬОНЫ АБЕЛЕВОЙ ГРУППЫ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ И ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНО ЗАМКНУТЫЕ АБЕЛЕВЫ ГРУППЫ БЕЗ КРУЧЕНИЯ	332

Секция 2. Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы и сети передачи данных. Интернет-технологии. Облачные технологии. Параллельные вычисления. Распределённые вычисления. Суперкомпьютерные и кластерные системы. Обработка больших объёмов данных (Big-data). Геоинформационные системы и технологии. Инновационные образовательные технологии 335

Abilova P.N.	SMART EDUCATION, SMART SOCIETY	336
Krak Iu., Amirgaliev E., Wojcik W., Barmak O., Manziuk E.	INFORMATION TECHNOLOGY FOR CLASSIFYING BASED ON THE METHODS OF FEATURES DATA REDUCTION AND PIECEWISE LINEAR SEPARATION	339
Shomanov A.S., Mansurova M.E.	PARALLEL CLUSTERING USING PARTITIONED GLOBAL ADDRESS SPACE MAPREDUCE MODEL	350
Ауэзова А.М., Алибиева Н.М.	ЖАРЫҚ КӨЗІ	355
Ахметова М., Сейдахметова Г.Е., Заманова С.К.	BIG DATA ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ПРОГРАММАЛАУ БАЙЛАНЫСЫ	358
Бисаринов Б.Ж., Бисаринова А.Т.	ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ (BIG DATA) ЗЕРТТЕУДІҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ	363
Ерекешева М., Бедер А.	ПРОГРАММАЛАУҒА ҮЙРЕТУШІ МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАНЫ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҚҰРУ	368
Зиятбекова Г.З., Мазаков Т.Ж., Kisala P.A.	ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ БҰЗЫЛУ САЛДАРЫ МЕН ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ БАСТЫ МӘСЕЛЕЛЕРІ	374
Сембиев О.З., Кемельбекова Ж.С.	ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	381
Адамбаев М.Д., Вуйцик В., Джулаева Ж.Т., Калабаева А.Е.	МЕТОД СОСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА ПО ЕГО ОПЕРАТОРНОМУ ВЫРАЖЕНИЮ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ	387
Алмасов Н.Ж., Ахметов Б.С.	ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНО УДАЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ	397
Амиргалиев Е.Н., Куанышбай Д., Шойынбек А.	ПОСТРОЕНИЕ ЯЗЫКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	401

Амиргалиев Е.Н., Кунелбаев М.Н., Ауелбеков О.А., Катаев Н.С., Едилхан Д., Сундетов Т., Орманов Т.	РЕШЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ, СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ LIGHTGBM ДЛЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ «ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР+ТЕПЛОВОЙ НАСОС»	406
Амирханова Г.А., Горчаков А.Ю., Дуйсенбаева А.Ж.	О ПРИМЕНЕНИИ ОДНОГО СПОСОБА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПЛОСКОГО КРИСТАЛЛА	418
Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т.	ОБЗОР МЕТОДОВ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	425
Байсалбаева К.Н., Амирханова Г.А., Балтабеков А.К.	РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН КРЕДИТОВАНИЯ	432
Бодесова А., Ахметов Б.С.	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СИСТЕМУ СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ (СООРУЖЕНИЯ), ФУНДАМЕНТА И ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ	438
Буранбаева А.И., Коржаспаев А.Е., Сагындыкова М.С.	ВЛИЯНИЕ ДЕФИНИЦИЙ НА ПОСТАНОВКУ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	444
Диханбаев К.К., Сиваков В.А., Мусабек Г.К., Шабдан Е.Т, Бондарев А.И.	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РЕЗИСТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНКИ ZnO: Al НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТИ	449
Искаков К.Т., Боранбаев С.А., Азиева Н., Турарова М.	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПО ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА	456
Киселева О.В., Бейсек Л.	ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА	468
Кунелбаев М.Н., Ауелбеков О.А., Катаев Н.С., Едилхан Д., Сундетов Т., Орманов Т.А.	СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ДВУХКОНТУРНОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ	473
Кунелбаев М.М., Даулбаев С.М., Саржан М.Б.	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	479

Кунелбаев М.М., Козбакова А.Х., Даулбаев С.М., Мерембаев Т., Айткулов Ж., Черикбаева Л.Ш.	РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО КОТРОЛЛЕРА ДЛЯ ДВУХКОНТУРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ	483
Кунелбаев М.М., Мұратханова Т., Исламгожаев Т.	ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА ВЕРХНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА	495
Лебедев Д.В., Ахмед-Заки Д.Ж., Жуман К.Б., Нурахов Е.С., Толенбеков Е.К., Городничев М.А., Перепелкин В.А.	РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АКТИВНЫХ ЗНАНИЙ	500
Лебедев В.Ю., Ахметова М.А.	ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ С ТЕХНОЛОГИЯМИ BIG DATA	510
Мендакулов Ж.К.	СОЗДАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ BLUETOOTH	515
Мирзакулова Ш.А., Бекмагамбетова Ж.М., Юсупова Г.М., Искакова А.Ж., Отепханова Б.С.	НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ РЕГРЕССИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА	521
Младенович Н., Красовицкий А., Мусабаев Р.	МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦИИ В ЗАДАЧЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ	525
Мустафин М.Б., Турар О.Н., Ахмед-Заки Д.Ж.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VULKAN ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЙ БОЛЬШИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СО ВРЕМЕНЕМ	534
Мухаев Д.	ЕДИНЫЙ ИНТРАНЕТ ПОРТАЛ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРЕТЕНДЕНТОВ НА ГОСУДАРСТВЕННУЮ СЛУЖБУ РК	543
Мухамеджанова А.Д., Туманбаева К.Х.	ТЕХНОЛОГИЯ LORA В СЕТИ IOT/ M2M	546
Сарсимбаева С.М., Бисенкул А.С.	РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ OLAP	553

Темирбеков Н.М., Байгереев Д.Р., Темирбеков А.Н., Омиржанова Б.Б.	ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АКАДЕМГОРОДКА ГОРОДА АЛМАТЫ	558
Тергеусизова А.С., Тойгожинова А.Ж., Мусапирова Г.Д.	АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТОВОЛОКНА КАК УПРУГО-ВЯЗКОЙ СРЕДЫ	563
Терехов А.Г., Пак А.А., Егембердиева З.М.	МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РЕЖИМА СЕЗОННОГО ПОПОЛНЕНИЯ КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СУАР, КНР) НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ	569
Урмашев Б.А., Темирбеков А.Н., Сарсембаев М.С.	РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ	577
Утепбергенов И.Т., Кудубаева А.Б.	РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА	583
Хизирова М.А., Темырканова Э.К., Алданияров Б.Ж., Полушин М.Ю.	АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ZIGBEE СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ OPNET MODELER	588
Юничева Н.Р., Бостанбеков К.А., Алимова А.Н., Витковская И.С.	К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПОДБОРУ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РЕГИОНЕ ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ	593
Юнусов Р., Мерембаев Т.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ С СЕТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ	601
Содержание		609

МАТЕРИАЛЫ
IV международной научно-практической конференции
"Информатика и прикладная математика",
посвященной 70-летнему юбилею профессоров
Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика
и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н.

25-29 сентябрь 2019, Алматы, Казахстан

Часть 1

Под редакцией М.Н. Калимолдаева

Компьютерная верстка
А.А. Кулемзин

Подписано в печать 20.09.2019 г. Формат А4
Печать цифровая. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 70,8.
Тираж 300 экз. Заказ № 006676.
Отпечатано в ИИВТ МОН РК.
Алматы, ул. Пушкина, 125