

Институт информационных и вычислительных технологий
МОН РК

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

Университет Туран

Люблинский технический университет, Польша



МАТЕРИАЛЫ

III Международной научной конференции
«Информатика и прикладная математика»,

посвященная 80-летнему юбилею

профессора Бияшева Р.Г.

и 70-летию профессора Айдарханова М.Б.

26-29 сентября 2018 года, Алматы, Казахстан

Часть 1

Алматы 2018

УДК 004(063)
ББК 32.973
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

Магзом М.М. - заместитель генерального директора ИИВТ, доктор PhD

Юничева Н.Р. - ученый секретарь ИИВТ МОН РК, кандидат технических наук, доцент

И 74 **Информатика и прикладная математика:** Мат. III Межд. науч. конф. (26-29 сентября 2018 г). Часть 1. – Алматы, 2018. – 352 с.

ISBN 978-601-332-165-3

В сборнике опубликованы доклады, представленные по 5 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 004(063)
ББК 32.973

ISBN 978-601-332-165-3

© Институт информационных и
вычислительных технологий
МОН РК, 2018

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

Сопредседатели:

- Алшанов Р.А., академик МИА, Казахстан

Зам.председателя:

- Ружанский М., доктор PhD, Великобритания
- Бектемесов М.А., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Вуйцик В.Ч., профессор, Польша

Члены международного программного комитета:

- Абламейко С.В., академик НАН Беларусь, Белоруссия;
- Адамов А., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Айда-заде К.Р., д.ф.-м.н., 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., профессор, Казахстан
- Ашимов А.А., академик НАН РК, Казахстан
- Бадаев С.А., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- Балгабаева Л.Ш., к.т.н, доцент, Казахстан
- Бияшев Р.Г., д.т.н., профессор, Казахстан
- Бобров Л.К. д.т.н., Россия
- Б依ев Н.К., академик НАН РК, Казахстан
- Дауылбаев М.К., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- 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.К., д.ф.-м.н., профессор, Россия
- Искаков К.Т., д.ф.-м.н., профессор, Казахстан
- 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., к.ф.-м.н., 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
- 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
- Соколова О.Д. к.т.н., Россия
- Тузиков А.В., академик НАН, Беларусь
- Тукеев У., д.т.н., профессор, 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
- Хайрова Н.Ф., д.т.н., Украина
- Харин С.Н., академик НАН РК, Казахстан
- Шарипбай А.А., д.т.н., профессор, Казахстан
- Шаршеналиев Ж.Ш., академик НАН КР, Кыргызстан
- Prof. Bagher Baba Ali, professor, Iran
- Prof. Erol Kurt, Turkey
- Prof. Leonid Perlovsky, USA
- Prof. Mohamed Othman, Малайзия
- Prof. Frank Chong woo Park, South Korea
- Prof. Hamdani bin Saidi, Malaysia
- Prof. Hiroshi Inaba, Japan
- Prof. Keylan Alimhan, Japan
- Prof. Marat Ahmet, Turkey
- Prof. Masayasu Ito, Japan
- Prof. Nenad Mladenovich, France
- Prof. Ravil Muhamediev, Latvia
- Prof. Tenreiro Machado, Portugal

Ученые секретари конференции:

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

Организационный комитет

Председатели:

- PhD, Мамырбаев О.Ж.
- к.ф.-м.н. Калижанова А.У.
- PhD, Ахметжанов М.А.

Зам.председателей:

- Ахметов Е.А.

Члены организационного комитета:

- Айтмухамбетова Г.А.
- Анищенко Л.Н.
- Аспантаев А.
- Абишева А.
- Ахмедиярова А.Т.
- Дузбаев Т.
- Дюсенбаев Д.
- Зиятбекова Г.
- Исанова А.С.
- Калиева Г.С.
- Касымова Д.Т.
- Кулемзин А.А.
- Бегимбаева Е.Е.
- Елетан Б.Б.
- Бостандық С.
- Есеналиева Е.Е.
- Егембердиева З.М.
- Елеусинов А.
- Мажитов Ш.С.
- Масимканова Ж.А.
- Мусабаев Т.Р.
- Науменко В.В.
- Нуржанов Ч.,
- Нуркаманова М.А.
- Оразбеков Ж.
- Тасболатұлы Н.
- Тойбаева Ш.Ж.
- Утегенова А.У.
- Усатова О.
- Шахмаев Р.А.
- Шахов В. В.,
- Шокишалов Ж.
- Асқарова А.
- Тулешова А.
- Галиева Ф.М.
- Турдалы М.

Место проведения:

Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 28,
Ғылым ордасы, с 26 по 29 сентября 2018 г.
Тел.: +7 - 727- 272-37-11,
+7 - 722 -272-39-13.

СЕКЦИЯ 1

Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления

INVESTIGATION OF THE THERMOMECHANICAL STATE OF THE ROD UNDER THE INFLUENCE OF LATERAL HEAT EXCHANGE AND LOCAL TEMPERATURES AT THE ENDS

Arshidinova M.T.^{1,3}, Begaliyeva K.B.^{1,3}, Askarova A.A.^{1,3},
Zhumakhanova A.S.¹, Nogaybaeva M.O.², Kudaykulov A.K.¹,
Tashev A.A.¹

¹*Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK*

²*Institute of Mechanics and Engineering Science named after
Academician U.A. Dzholdasbekov*

³*Al-Farabi Kazakh National University*

Abstract. *This article deals with the problems of numerical study of the thermomechanical state of rods. On the basis of the fundamental law on the change in the amount of heat, an equation of the established thermal conductivity for a horizontal rod of limited length and a constant cross section is constructed through a fixed cross-section in a time $\delta\tau$. In this case, different temperatures are set at the two ends of the investigated rod, and heat exchange with the surrounding medium takes place through the lateral surface. In addition, the investigated rod is made of thermal protective material ANV-300. The determining law of the distribution of temperature, of all the corresponding deformations and stresses, and also of the displacement along the length of the investigated rod. The values of the thermal elongation and the resulting axial force are calculated.*

In a complex thermal zone, bearing components of reactive and hydrogen engines, nuclear and thermal power stations, processing lines of processing industries, as well as internal combustion engines operate. The reliable operation of these structures will depend on the conditions of the thermoelectric power of the bearing components. Therefore, this study is devoted to a numerical study of the state of the thermoelectric power of the structural components in the form of rods of limited length, bounded at both ends.

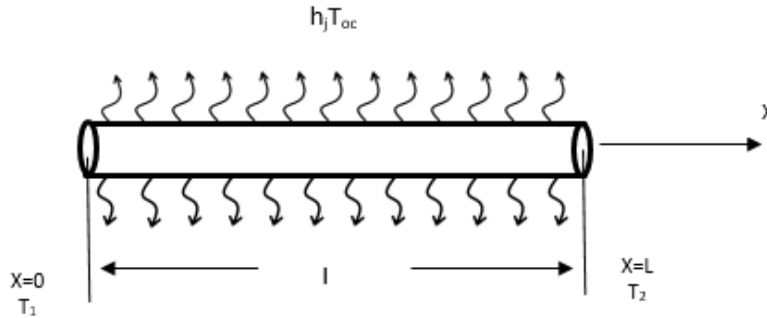
The proposed computational algorithm is based on the principle of energy conservation. In this case, all types of integrals in the functional energy formulas are integrated analytically. In this case, the numerical solutions obtained will have high accuracy.

Keywords: *the temperature, the rod, the thermal energy, the algorithm.*

Statement of the problem

We consider a horizontal rod of limited length and a constant crossed section whose area $F(\text{cm}^2)$. He axis ox of the rod is directed from the left to the right which coincides with the axis of the rod. At the left end of the rod, the temperature $T_1 [c^0]$, is given, and the direction $T_2 [c^0]$. In this case $T_1 > T_2$. Through the lateral surface of the rod, heat exchange

takes place with its surrounding medium. In this case, the heat transfer coefficient $h \left[\frac{\text{watt}}{\text{cm}^2 \cdot \text{c}^0} \right]$, and the ambient temperature $T_{oc} [c^0]$. The calculation scheme of the process is shown in Fig. 1



Picture 1. The calculation scheme of the problem

It is required to determine:

- 1) The law of temperature distribution along the length of the investigated rod.
 - 2) Determine the amount of thermal elongation of the test rod.
- In case of pinching the two ends of the rod, it is necessary to determine:
- 3) The arising axial forces.
 - 4) The field of distribution of the components of deformations and stresses.
 - 5) The field of distribution of displacement.

The physical and mechanical properties of the material of the rod under investigation are characterized by the coefficients of thermal conductivity $K_{xx} \left[\frac{\text{watt}}{\text{cm}^2 \cdot \text{c}^0} \right]$, thermal expansion $\alpha \left[\frac{1}{\text{c}^0} \right]$ and elastic modulus $E \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$. If we take into account that the investigated process of the rod material is much larger than the cross-sectional area, then it is possible to neglect the temperature gradients in the directions perpendicular to the axis of the rod without significant error, and take the temperature constant at each point of the cross section perpendicular to the axis. With this assumption, a temperature with a function of only one independent variable x , and the field of temperature distribution along the length of the rod can be described by an ordinary differential equation.

According to the fundamental law of thermophysics, the amount of heat passing through the time dt through the cross sections of the rod at a distance of x [cm] from its left end will be

$$-K_{xx}F \frac{dT}{dx} d\tau \quad (1)$$

where $T(x)$ – is the temperature distribution field, which is still unknown.

At that time, the amount of heat passing through the time dt through the cross section, located at a distance $x + dx$ [cm] from the left end of the rod, will be equal to

$$-K_{xx}F \left(\frac{dT}{dx} + \frac{d^2T}{dx^2} dx \right) d\tau \quad (2)$$

In addition, the portion of the rod enclosed between the sections spaced from the left end of the rod at a distance of x and $x + dx$ [cm], due to the thermal conductivity process, acquires during the time dt the amount of heat equal to the difference of the indicated quantities (1) and (2) e.

In addition, the portion of the rod enclosed between the sections spaced from the left end of the rod at a distance of x and $x + dx$ [cm], following the heat conduction process, acquires in the time dt the amount of heat equal to the difference of the indicated amounts (1) and (2),

$$K_{xx}F \frac{d^2T}{dx^2} d\tau \quad (3)$$

It should also be noted that during this same time, a heat loss equal to

$$hPdx(T - T_{oc})d\tau \quad (4)$$

where P [cm] is the cross sectional.

But since the process we are investigating is steady-state, i.e. stationary, then from (3-4) we have

$$K_{xx}F \frac{d^2T}{dx^2} dx d\tau = hPdx(T - T_{oc})d\tau \quad (5)$$

From this, for the problem under consideration, we determine the equation for the steady-state heat conductivity

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{hP(T - T_{oc})}{K_{xx}F} \quad (6)$$

For convenience, we introduce the notation

$$a^2 = \frac{hP}{K_{xx}F} \quad (7)$$

considering that the ambient temperature $T_{oc} = const, 0 \leq x \leq l$, then we have

$$\frac{d(T - T_{oc})}{dx} = \frac{dt}{dx} \quad (8)$$

hence we also obtain

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{d^2(T - T_{oc})}{dx^2}, 0 \leq x \leq l \quad (9)$$

Taking (7) and (9) into account, we rewrite (6)

$$\frac{d^2(T-T_{oc})}{dx^2} - a^2(T - T_{oc}) = 0 \quad (10)$$

This equation is an ordinary differential equation with constant coefficients. Then its general integral will be

$$T - T_{oc} = C_1 e^{ax} + C_2 e^{-ax}, \quad 0 \leq x \leq l \quad (11)$$

where C_1 and C_2 are constants of integration. Their values are determined from the boundary conditions at the ends of the rod.

$$T(x = 0) = T_1[c^0]; T(x = l) = T_2[c^0]; \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} T_1 - T_{oc} &= C_1 + C_2 \\ T_2 - T_{oc} &= C_1 e^{al} + C_2 e^{-al} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

From these systems, the values C_1 and C_2 .

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{(T_2 - T_{oc}) - (T_1 - T_{oc})e^{-al}}{2sh(al)} \\ C_2 &= \frac{(T_1 - T_{oc})e^{al} - (T_2 - T_{oc})}{2sh(al)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Substituting (14) into (11), we determine the field of temperature distribution along the length of the rod under consideration, taking into account the operating conditions [2]

$$T(x, h, K_{xx}, P, F, T_{oc}) = T_{oc} + \frac{(T_2 - T_{oc})sh(ax) + (T_1 - T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)}, \quad 0 \leq x \leq l \quad (15)$$

On the basis of the fundamental theory of thermal physics, it is possible to determine the elongation of the rod under consideration if it is pinched by one end and the other is free

$$\Delta l_T = \int_0^l \alpha T(x) dx = \alpha \int_0^l T(x) dx = \alpha \{ T_{oc} l + [(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1)/a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al)/a)] / sh(al) \} \quad (16)$$

In the event that both ends of the rod are clamped, an axial compressive force R is produced in it, which will be directed along its axis ox . Its value is determined by the corresponding Hooke law [3]

$$R = -\frac{\Delta l_T EF}{l} = -\frac{\alpha EF}{l} \{ T_{oc} l + [(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1)/a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al)/a)] / sh(al) \} \quad (17)$$

In this case, according to the length of the investigated rod, the distribution law of the thermoelastic component of the voltage t can be determined according to the generalized Hooke's law

$$\sigma = \frac{R}{F} = -\frac{\alpha E}{l} \left\{ T_{oc} l + \left[(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1) / a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al) / a) \right] / sh(al) \right\} \quad (18)$$

Then the distribution law of the corresponding thermo-elastic component of the deformation is also determined according to Hooke's law

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = -\frac{\alpha}{l} \left\{ T_{oc} l + \left[(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1) / a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al) / a) \right] / sh(al) \right\} \quad (19)$$

Further, according to the theory of thermal physics, the law of distribution of the temperature component of deformation

$$\varepsilon_T(x) = -\alpha T(x) = -\alpha \left\{ T_{oc} + \frac{(T_2 - T_{oc})sh(ax) + (T_1 - T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)} \right\}, 0 \leq x \leq l \quad (20)$$

Then the temperature component of the voltage is already determined according to Hooke's law

$$\sigma_T(x) = E\varepsilon_T(x) = -\alpha E \left\{ T_{oc} + \frac{(T_2 - T_{oc})sh(ax) + (T_1 - T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)} \right\}, 0 \leq x \leq l \quad (21)$$

After this, according to the theory of thermo elasticity, it is possible to determine the law of distribution of the elastic component of deformation

$$\varepsilon_x(x) = \varepsilon - \varepsilon_T(x) = -\frac{\alpha}{l} \left\{ T_{oc} l + \left[(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1) / a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al) / a) \right] / sh(al) \right\} + \alpha \left\{ T_{oc} + \frac{(T_2 - T_{oc})sh(ax) + (T_1 - T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)} \right\}, 0 \leq x \leq l \quad (22)$$

Then, according to Hooke's law, we can determine the law of distribution of the elastic component of the voltage

$$\sigma_x(x) = E\varepsilon_x(x) = \sigma - \sigma_T(x) = -\frac{\alpha E}{l} \left\{ T_{oc} l + \left[(T_2 - T_{oc})(ch(al) - 1) / a - (T_1 - T_{oc})(1 - ch(al) / a) \right] / sh(al) \right\} + \alpha E \left\{ T_{oc} + \frac{(T_2 - T_{oc})sh(ax) + (T_1 - T_{oc})sha(l-x)}{sh(al)} \right\}, 0 \leq x \leq l \quad (23)$$

Finally, we can determine the law of distribution of the displacement of the cross-section of the rod. It is determined from the Cauchy relations

$$\varepsilon_x(x) = \frac{\partial u}{\partial x}; \Rightarrow U = \int \varepsilon_x(x) dx + C \quad (24)$$

Here the value of the constant C is determined from the pinning conditions $U(x=0)=0$. Then we have

$$U(x) = -\alpha \left[T_{oc} + \frac{chal-1}{alshal} (T_1 + T_2 - 2T_{oc}) \right] x + \alpha \left\{ T_{oc} x + \frac{1}{ashal} [(T_2 - T_{oc}) chax - (T_1 - T_{oc})] \right\} + \frac{\alpha}{ashal} [(T_1 - T_{oc}) chal - (T_2 - T_{oc})] \quad (25)$$

Then we have $l=100\text{cm}$, $K_{xx} = 100 \frac{\text{Br}}{\text{cm c}^0}$; $h=10 \frac{\text{Br}}{\text{cm}^2 \text{c}^0}$; $T_{oc} = 20^0\text{C}$; $\alpha = 125 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{c}^0}$; $E=2 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$; $T_1=600^0\text{C}$; $T_2=100^0\text{C}$; $r=1\text{cm}$.

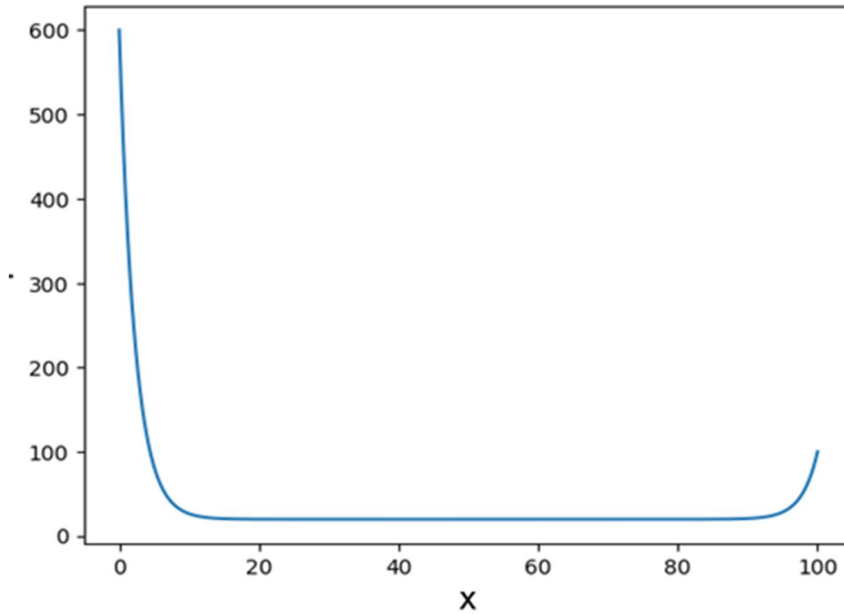
Then we get the results shown in Figure-2. In Figure-2, a) the law of the distribution of temperature along the length of the rod is given. The resulting law of distribution of deformation components is given in Figure-2, b). It can be seen from the figure that the thermo-elastic component of the deformation ε -is constant along the entire length of the rod.

At that time, the elastic component of the deformation $\varepsilon_x(x)$, on stretches near the jamming, has a stretching character. In the middle section of the rod, $\varepsilon_x(x)$, has a compressive character. The temperature component of the deformation $\varepsilon_T(x)$ along the entire length has a compressive character. Its maximum value corresponds to the highest temperature.

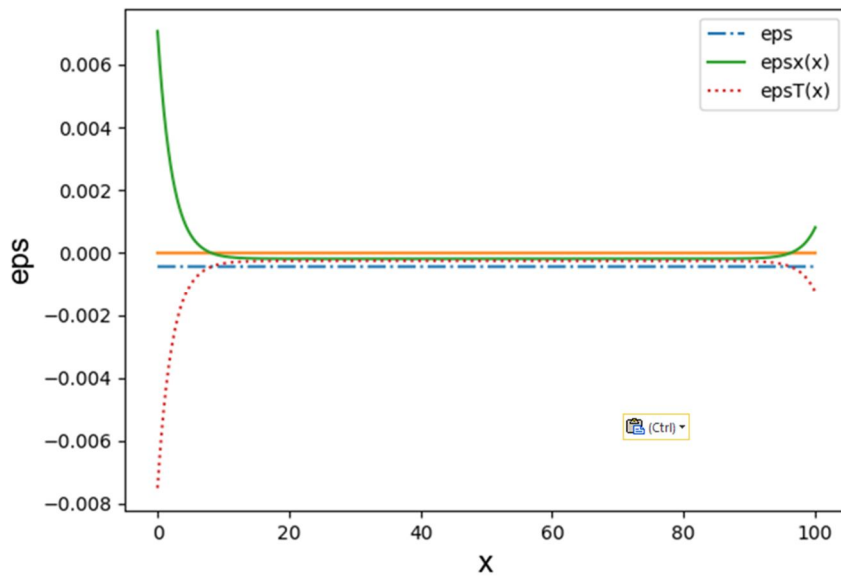
The nature of the component stresses is similar to the corresponding deformations. This is clearly seen from Figure-2, c). In Figure-2, d) the distribution field for the displacement of the cross-sections of the rod is given. It can be seen from the figure that the cross-sections of the rod in section $0 < x \leq 6,9$ are moving in the direction of the x axis. At that time, the largest displacement $U_{max1} = 0.0043092$ cm corresponds to the coordinate cross-section of which $x = 8$ cm;

The cross sections of the rod located in the section $70 < x < 100$ cm move against the direction of the axis ox. Here, the largest displacement $U_{max2} = -0,0016472$ cm corresponds to a cross section whose coordinate is $x = 94$ cm. Moreover, $|U_{max1}|/|U_{max2}| = 2,61639$;

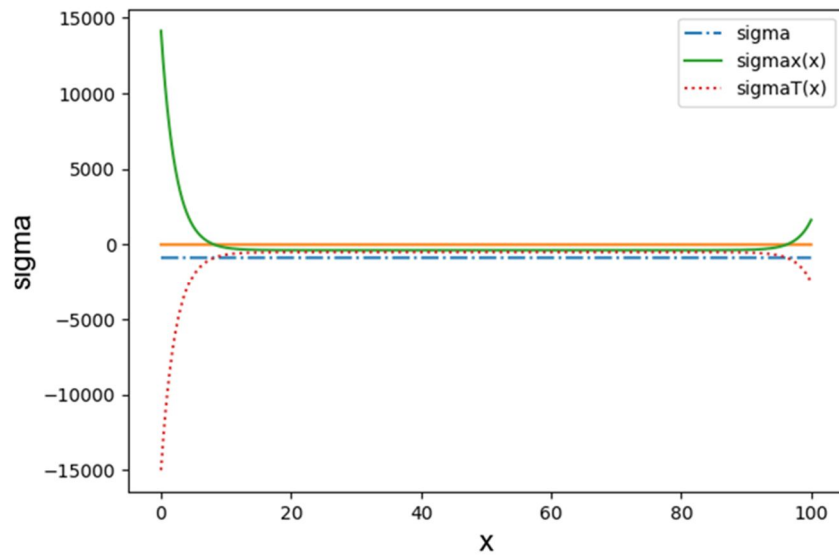
a) The temperature



b) the deformation



c) voltage



d) move

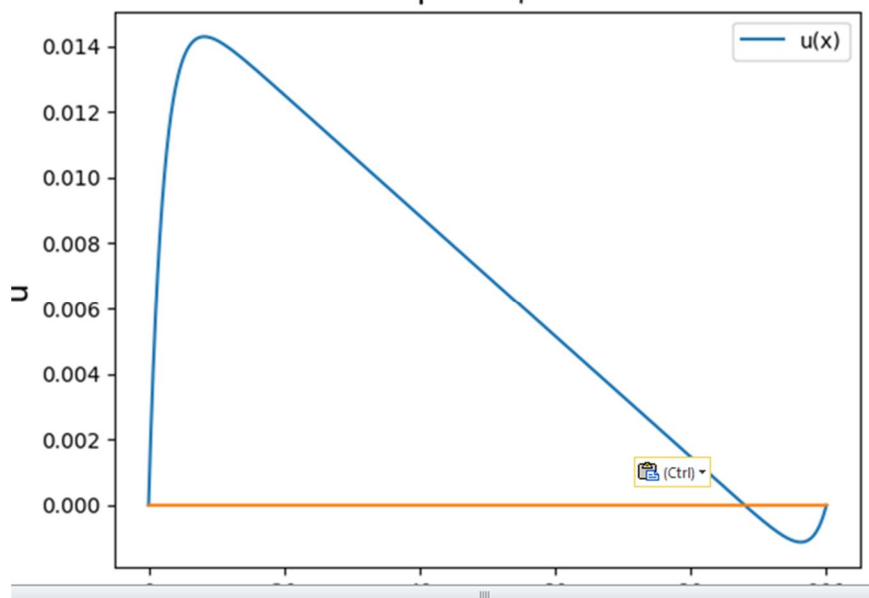


Figure - 2. The laws of distribution of temperatures, strains, stresses and displacements

CONCLUSION

On the basis of the fundamental laws of changing the amount of heat, a resolving differential equation of the second order with constant coefficients is constructed which describes the steady-state temperature distribution in a rod of limited length and constant

cross section in the presence of lateral heat exchange and point heat sources in the form of temperature at the ends of the rod. The field of temperature distribution, the magnitude of the elongation of the rod, the magnitude of the resulting axial force, the laws of distribution of all the components of the strain and stress, the distribution field of the elastic component of the displacement are determined.

Acknowledgement

The work was supported by grant funding of scientific and technical programs and projects by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

References

[1] Kudaykulov AK, Kenzhegul BZ, Myrzasheva AN Mathematical model of the steady field of temperature distribution along the length of the rod of limited length in the presence of local temperature, heat flow, heat transfer and heat insulation. Science and new technologies, №5, Bishkek, 2009, 17-2. (in Russ.).

[2] Kudaykulov AK, Tuleuova R. Amirtaev KB, Tokkuliev BM, "Steady napryazhenno deformed state zhestko-zakreplennogo two ends partially insulated rod in the presence of heat flow, heat transfer and temperature," Proceedings Fifth All-Russian Scientific Conference with international participation (29-31 May 2008). Part 1 Mathematical models of mechanics, strength and reliability of structural elements, Mat. modeling and edges. tasks SamGTU, Samara, 2008, 161-164. (in Russ.).

[3] AK Kudaykulov, Mathematical (finite element) modeling of applied problems of heat distribution in one-dimensional structural elements. - Turkestan: Baiterek - 2009. - 168 p.

[4] Kenzhegul BZ, Kudaykulov AK, AN Myrzasheva Numerical study of the extension rod superalloy based on the availability of all types of sources. Proceedings of the universities. - Bishkek, 2009. - №4. -3-7. (in Russ.).

[5] Tashenova JM, Nurlybaeva EN, Zhumadillaeva AK, AK Kudaykulov The computational algorithm and simulation thermostressed state bar of heat-resistant alloy with heat exchange, thermal insulation and temperature constant intensity. Basic research. - 2012. - № 3-3. - P. 660-664. (in Russ.).

[6] AS Ivanov The mathematical analogy in continuum mechanics. Monograph. Moscow, Moscow State Open University, 2009 180. (in Russ.).

[7] X Gu, X Dong, M Liu, Y Wang - Heat Transfer-Asian Research, 2012 - Wiley Online Library.

[8] Aytaliev Sh.M., Kudaykulov AK Mardonov B. Mechanics sticking bruilnyh columns in oil and gas wells. Atyrau-Almaty: Publishing "Evreux", 1999, -82. (in Russ.).

[9] Chernyaeva T. P. and Ostapov A. V., Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Radiation Effect and Radiation Material Science, (87) 5, 16 (2013). (in Eng.).

[10] Zelensky V. F., Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Nuclear Physics Investigations (85) 3, 76 (2013). (in Eng.).

- [11] M.L.F. Lerch, M. Petasecca, A. Cullen et al., Radiation Measurements 46, 1560 (2011). Gestrin SG Localization of Frenkel excitons on dislocations. Gestrin, A.N. Salnikov. News of universities. Physics. 2005. № 7. P. 23-25. (in Eng.).
- [12] Bezshyyko A., Vyshnevskiy I.M., Denisenko R.V. et al., Nucl. Phys. At. Energy 12, No. 4, 400 (2011). (in Eng.).
- [13] Gestrin SG Localization of Frenkel excitons on dislocations. Gestrin, A.N. Salnikov. News of universities. Physics. 2005. № 7. P. 23-25. (in Eng.). (in Eng.).
- [14] Tungatarov A., D.K. Akhmed-Zaki. Cauchy problem for one class of ordinary differential equations// Int. J. of Mathematical Analyses. 2012, vol.6, no 14, 695-699. (in Eng.).
- [15] Meirmanov A., Mathematical models for poroelastic flows, Atlantis Press// Paris, 2013,478 pp. (in Eng.).
- [16] Kulpeshov B.Sh., Macpherson H.D., Minimality conditions on circularly ordered structures. Mathematical Logic Quarterly, 51 (2005), pp. 377-399. (in Eng.).
- [17] Kulpeshov B.Sh., On \aleph_0 -categorical weakly circularly minimal structures. Mathematical Logic Quarterly, volume 52, issue 6, 2006, pp. 555-574. (in Eng.).
- [18] Yerofeyev VL, Semenov PD Heat. - M.: ICC Akademkniga.-2006-488. (in Russ.).
- [19] VN Lukanin Teplotehnika. M .: Higher shkola.-2002-671. (in Russ.).
- [20] Nozdrev V.F. Course of thermodynamics. - Moscow: Mir, 1967. - 247 p. (in Russ.).

REDUCTION OF MODERN PROBLEMS OF MATHEMATICS TO THE CLASSICAL RIEMANN-POINCARÉ-HILBERT PROBLEM

Durmagambetov A.A.

aset.durmagambet@gmail.com

***Abstract.** Using the example of such a complicated problem as the Cauchy problem for the Navier-Stokes equation, we show how the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary value problem enables us to construct effective estimates of solutions for this case. The apparatus of the three-dimensional inverse problem of quantum scattering theory is developing for this. In which it is shown that the unitary scattering operator can be studied as a solution of the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary-value problem. This allows us to go on to study the potential in the Schrödinger equation, which we consider as a velocity component in the Navier-Stokes equation. The same scheme of reduction of Riemann integral equations for the zeta-function to the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary-value problem allows us to construct effective estimates that describe the behavior of the zeros of the zeta function very well.*

Keywords: *Schrödinger's equation; potential; scattering amplitude; Cauchy problem; Navier–Stokes equations; Fourier transform, the global solvability and uniqueness of the Cauchy problem, the loss of smoothness, The Millennium Prize Problems, Euler product, Dirichlet, Riemann, Hilbert, Poincaré, Riemann hypothesis, zeta function, Hadamard, Landau, Walvis, Estermann, Chernoff [2010] 11M26 AMS 11*

1 INTRODUCTION

Using the example of such a complicated problem as the Cauchy problem for the Navier-Stokes equation, we show how the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary value problem enables us to construct effective estimates of solutions for this case. The apparatus of the three-dimensional inverse problem of quantum scattering theory is developing for this. In which it is shown that the unitary scattering operator can be studied as a solution of the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary-value problem. This allows us to go on to study the potential in the Schrodinger equation, which we consider as a velocity component in the Navier-Stokes equation. The same scheme of reduction of Riemann integral equations for the zeta-function to the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary-value problem allows us to construct effective estimates that describe the behavior of the zeros of the zeta function very well.

2 Results for the one-dimensional case

Let us consider one-dimensional function f and its Fourier transformation \tilde{f} . Using notions of module and phase, we write Fourier transformation in the following form $\tilde{f} = |\tilde{f}| \exp(i\Psi)$, where Ψ is phase. To cite Plancherel equality: $\|f\|_{L_2} = \text{Const} \|\tilde{f}\|_{L_2}$. Here we can see that a phase is not contributed to determination of X norm. To estimate a maximum we have a simple estimate as $\max|f|^2 \leq 2\|f\|_{L_2} \|\nabla f\|_{L_2}$. Now we have an estimate of the function maximum in which a phase is not involved. Let us consider a behavior of a progressing wave running with a constant velocity of $v = a$ described by function $F(x, t) = f(x + at)$. For its Fourier transformation along x variable we have $\tilde{F} = \tilde{f} \exp(iatk)$. Again in this case we can see that when we will be studying a module of the Fourier transformation, we will not obtain major physical information about the wave, such as its velocity and location of the wave crest because of $|\tilde{F}| = |\tilde{f}|$. These two examples show weaknesses of studying Fourier transformation. On the other hand, many researchers focus on the study of functions using embedding theorem, but in the embedding theorems main object of the study is module of function. But as we have seen in given examples, a phase is a main physical characteristic of a process, and as we can see in the mathematical studies, which use embedding theorems with energy estimates, the phase disappears. Along with phase, all reasonable information about physical process disappears, as demonstrated by Terence Tao [1] and other research considerations. In fact, he built progressing waves that are not followed energy estimates. Let us proceed with more essential analysis of influence of the phase on behavior of functions.

Theorem 1 *There are functions of $W_2^1(R)$ with a constant rate of the norm for a gradient catastrophe of which a phase change of its Fourier transformation is sufficient.*

Proof: To prove this, we consider a sequence of testing functions $\tilde{f}_n = \Delta/(1+k^2)$, $\Delta = (i-k)^n/(i+k)^n$. it is obvious that $|\tilde{f}_n| = 1/(1+k^2)$. $\max|f_n|^2 \leq 2\|f_n\|_{L_2}\|\nabla f_n\|_{L_2} \leq Const..$ Calculating the Fourier transformation of these testing functions, we obtain:

$$f_n(x) = x(-1)^{(n-1)}2\pi\exp(-x)L_{(n-1)}^1(2x) \text{ if } x > 0, \quad f_n(x) = 0 \text{ if } x \leq 0 \quad (1)$$

where $L_{(n-1)}^1(2x)$ is a Laguerre polynomial.

Now we see that the functions are equibounded and derivatives of these functions will grow with the growth of n . Thus, we have built an example of a sequence of the bounded functions of $W_2^1(R)$ which have a constant norm $W_2^1(R)$ and this sequence converges to a discontinuous function.

3 Results for the three-dimensional case

Consider Schrodinger's equation:

$$-\Delta_x \Psi + q\Psi = k^2\Psi, k \in C \quad (2)$$

Let $\Psi_+(k, \theta, x)$ be a solution of (2) with the following asymptotic behavior:

$$\Psi_+(k, \theta, x) = \Psi_0(k, \theta, x) + \frac{e^{ik|x|}}{|x|} A(k, \theta', \theta) + o\left(\frac{1}{|x|}\right), |x| \rightarrow \infty, \quad (3)$$

where $A(k, \theta', \theta)$ is the scattering amplitude and $\theta' = \frac{x}{|x|}$, $\theta \in S^2$ for $k \in \bar{C}^+ = \{Imk \geq 0\}$ $\Psi_0(k, \theta, x) = e^{ik(\theta, x)}$

$$A(k, \theta', \theta) = -\frac{1}{4\pi} \int_{R^3} q(x)\Psi_+(k, \theta, x)e^{-ik\theta'x} dx.$$

Solutions (2) - (3) are obtained by solving the integral equation

$$\Psi_+(k, \theta, x) = \Psi_0(k, \theta, x) + \int_{R^3} q(y) \frac{e^{+ik|x-y|}}{|x-y|} \Psi_+(k, \theta, y) dy = G(q\Psi_+)$$

which is called the Lippman-Schwinger equation.

Let introduce

$$\theta, \theta' \in S^2, Df = k \int_{S^2} A(k, \theta', \theta) f(k, \theta') d\theta',$$

Let us also define the solution $\Psi_-(k, \theta, x)$ for $k \in \bar{C}^- = \{Imk \leq 0\}$ as

$$\Psi_-(k, \theta, x) = \Psi_+(-k, -\theta, x).$$

As is well known[8] :

$$\Psi_+(k, \theta, x) - \Psi_-(k, \theta, x) = -\frac{k}{4\pi} \int_{S^2} A(k, \theta', \theta) \Psi_-(k, \theta', x) d\theta', k \in R. \quad (4)$$

This equation is the key to solving the inverse scattering problem, and was first used by Newton [8,9] and Somersalo et al. [10].

Definition 1 The set of measurable functions \mathbf{R} with the norm, defined by

$$\|q\|_{\mathbf{R}} = \int_{R^6} \frac{q(x)q(y)}{|x-y|^2} dx dy < \infty$$

is recognized as being of Rollnik class.

Equation (4) is equivalent to the following:

$$\Psi_+ = S\Psi_-,$$

where S is a scattering operator with the kernel $S(k, \dagger)$,

$$S(k, \dagger) = \int_{R^3} \Psi_+(k, x) \Psi_-^*(\dagger, x) dx.$$

The following theorem was stated in [9]:

Theorem 2 (The energy and momentum conservation laws) Let $q \in \mathbf{R}$. Then, $SS^* = I, S^*S = I$, where I is a unitary operator.

Corollary 1 $SS^* = I, S^*S = I$, yeild

$$A(k, \theta', \theta) - A(k, \theta, \theta')^* = \frac{ik}{2\pi} \int_{S^2} A(k, \theta, \theta'') A(k, \theta', \theta'')^* d\theta''$$

Theorem 3 (Birmann–Schwinger estimation). Let $q \in \mathbf{R}$. Then, the number of discrete eigenvalues can be estimated as:

$$N(q) \leq \frac{1}{(4\pi)^2} \int_{R^3} \int_{R^3} \frac{q(x)q(y)}{|x-y|^2} dx dy.$$

Lemma 1 Let $(|q|_{L_1(R^3)} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)}) < \alpha < 1/2$. Then,

$$\|\Psi_+\|_{L_\infty} \leq \frac{(|q|_{L_1(R^3)} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)})}{1 - (|q|_{L_1(R^3)} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)})} < \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\left\| \frac{\partial(\Psi_+ - \Psi_0)}{\partial k} \right\|_{L_\infty} \leq \frac{|q|_{L_1(R^3)} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)}}{1 - (|q|_{L_1(R^3)} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)})} < \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Let us introduce the following notations:

$$Q(k, \theta, \theta') = \int_{R^3} q(x) e^{ik(\theta - \theta')x} dx, K(s) = s, X(x) = x.$$

$$T_+ Q = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{Q(s, \theta, \theta')}{s - t - i0} ds, \quad T_- Q = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{Q(s, \theta, \theta')}{s - t + i0} ds.$$

Lemma 2 Let $q \in R \cap L_1(R^3)$, $\|q\|_{L_1} + 4\pi|q|_{L_2(R^3)} < \alpha < 1/2$. Then,

$$\|A_+\|_{L_\infty} < \alpha + \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

$$\left\| \frac{\partial A_+}{\partial k} \right\|_{L_\infty} < \alpha + \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

We define the operators T_\pm, T for $f \in W_2^1(R)$ as follows:

$$T_+ f = \frac{1}{2\pi i} \lim_{Imz \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(s)}{s - z} ds, \quad Imz > 0, \quad T_- f = \frac{1}{2\pi i} \lim_{Imz \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(s)}{s - z} ds, \quad Imz < 0,$$

$$Tf = \frac{1}{2}(T_+ + T_-)f.$$

Consider the Riemann problem of finding a function Φ , that is analytic in the complex plane with a cut along the real axis. Values of Φ on the sides of the cut are denoted as Φ_+, Φ_- . The following presents the results of [12]:

Lemma 3

$$TT = \frac{1}{4}I, TT_+ = \frac{1}{2}T_+, TT_- = -\frac{1}{2}T_-, \quad T_+ = T + \frac{1}{2}I, T_- = T - \frac{1}{2}I, T_- T_- = -T_-$$

Denote

$$\Phi_+(k, \theta, x) = \Psi_+(k, \theta, x) - \Psi_0(k, \theta, x), \quad \Phi_-(k, \theta, x) = \Psi_-(k, -\theta, x) - \Psi_0(k, \theta, x),$$

$$g(k, \theta, x) = \Phi_+(k, \theta, x) - \Phi_-(k, \theta, x)$$

Lemma 4 Let $q \in \mathbf{R}$, $N(q) < 1$, $g_+ = g(k, \theta, x)$, $g_- = g(k, -\theta, x)$. Then,

$$\Phi_+(k, \theta, x) = T_+g_+ + e^{ik\theta x}, \quad \Phi_-(k, \theta, x) = T_-g_+ + e^{ik\theta x}.$$

Lemma 5 Let

$$\sup_k \left| \int_{-\infty}^{\infty} \frac{pA(p, \theta', \theta)}{4\pi(p - k + i0)} dp \right| < \alpha, \quad \int_{S_2} \alpha d\theta < 1/2$$

Then

$$\prod_{0 \leq j < n} \int_{S_2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k_j A(k_j, \theta'_{k_j}, \theta_{k_j})}{4\pi(k_{j+1} - k_j + i0)} dk_j \right| d\theta_{k_j} \leq 2^{-n}$$

Lemma 6

Let

$$\sup_k \int_{S^2} |T_-QK| d\theta \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1, \quad \sup_k \int_{S^2} |T_- \tilde{q}K| d\theta \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1,$$

$$\sup_k \int_{S^2} |T_-Q\tilde{q}K^2| d\theta \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1$$

Then

$$\sup_k \int_{S^2} |T_-AK| d\theta \leq \frac{C \int_{S^2} |T_-QK| d\theta}{1 - \sup_k \int_{S^2} |T_-A\tilde{q}K^2| d\theta},$$

$$\sup_k \left| \int_{S^2} T_-A\tilde{q}K^2 d\theta \right| \leq \frac{C |T_- \int_{S^2} Q\tilde{q}K^2 d\theta|}{1 - |T_- \int_{S^2} \tilde{q}K d\theta|}$$

To simplify the writing of the following calculations, we introduce the set defined by

$$M_\varepsilon(k) = \left(|s|\varepsilon < |s| + |k - s| < \frac{1}{\varepsilon} \right)$$

and function of Heavisid given by

$$\Theta(x) = \{1, \text{ if } x > 0, \quad 1/2 \text{ if } x = 0, \quad -1 \text{ if } x < 0 \}.$$

Lemma 7 Let $q, \nabla q \in \cap L_2(R^3)$. Then,

$$\int_{R^3} \Theta(A) e^{ik|x|^A} q(x) dx = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{S \in M_\varepsilon(k)} \int_{R^3} \frac{e^{is|x|^A}}{k-s} q(x) ds$$

$$\int_{R^3} \Theta(A) k e^{ik|x|^A} q(x) dx = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{S \in M_\varepsilon(k)} \int_{R^3} s \frac{e^{is|x|^A}}{k-s} q(x) dx ds$$

Proof. The lemma can be proved by conditions of Lemma and Lemma of Jordan.

Lemma 8

Let

$$l = 2, \quad I_0 = \Psi_0(x, k)|_{r=r_0}$$

Then

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} \tilde{q}(k(\theta - \theta')) I_0 k^2 dk d\theta d\theta' \right| \leq \sup_{x \in R^3} |q(x)| + C_0 \left(\frac{1}{r_0} + r_0 \right) \|q\|_{L_2(R^3)}$$

$$\sup_{\theta \in S^2} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} QTKQI_0 k^2 d\theta'' d\theta' dk \right| \leq C_0 \left(\frac{1}{r_0} + r_0 \right) \|q\|_{L_2(R^3)}^2$$

Lemma 9

Let

$$\sup_k |T-QK| \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1, \quad \sup_k |T-\tilde{q}K| \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1,$$

$$\sup_k |T-Q\tilde{q}K^2| \leq \alpha < \frac{1}{2C} < 1, \quad l = 0, 1, 2$$

Then

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} A(k, \theta', \theta) k^l dk d\theta' d\theta \right| \leq \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} \tilde{q}(k(\theta - \theta')) k^l dk d\theta' d\theta \right| +$$

$$C \sup_{\theta \in S^2} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} QTKAk^l d\theta'' d\theta' dk \right|$$

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{S^2} \int_{S^2} A(k, \theta', \theta) k^2 dk d\theta' d\theta \right| \leq$$

$$\leq \sup_{x \in R^3} |q| + C_0 \|q\|_{W_2^1(R^3)} \|q\|_{L_2(R^3)} \left(\left| \int_{S^2} TKA d\theta'' \right| + 1 \right)$$

Lemma 10 *Let*

$$\sup_k \int_{S^2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \frac{pA(p, \theta', \theta)}{4\pi(p - k + i0)} dp \right| d\theta < \alpha < 1/2, \quad \sup_k |pA(p, \theta', \theta)| < \alpha < 1/2$$

Then

$$|T_- D\Psi_0| < \frac{\alpha}{1 - \alpha}, \quad |T_+ D\Psi_0| < \frac{\alpha}{1 - \alpha}, \quad |D\Psi_0| < \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$T_- g_- = (I - T_- D)^{-1} T_- D\Psi_0, \quad \Psi_- = (I - T_- D)^{-1} T_- D\Psi_0 + \Psi_0,$$

q satisfies the following inequalities:

$$\sup_{x \in R^3} |q(x)| \leq \left| \int_{S^2} TKQ d\theta \right| C_0 \left(\|q\|_{L_2(R^3)}^2 + 1 \right) + C_0 \|q\|_{L_2(R^3)}$$

4 Conclusions for the three-dimensional inverse scattering problem

This study has shown once again the outstanding properties of the scattering operator, which, in combination with the analytical properties of the wave function, allow to obtain an almost-explicit formulas for the potential to be obtained from the scattering amplitude. Furthermore, this approach. The estimations follow from this reach overcomes the problem of over-determination, resulting from the fact that the potential is a function of three variables, whereas the amplitude is a function of five variables. We have shown that it is sufficient to average the scattering amplitude to eliminate the two extra variables.

5 Cauchy problem for the Navier–Stokes equation

Numerous studies of the Navier-Stokes equations have been devoted to the problem of the smoothness of its solutions. A good overview of these studies is given in [13]-[17]. The spatial differentiability of the solutions is an important factor, this controls their evolution. Obviously, differentiable solutions do not provide an effective description of turbulence. Nevertheless, the global solvability and differentiability of the solutions has not been proven, and therefore the problem of describing turbulence remains open. It is interesting to study the properties of the Fourier transform of solutions of the Navier-Stokes equations. Of particular interest is how they can be used in the description of turbulence, and whether they are differentiable. The differentiability of such Fourier transforms appears to be related to the appearance or disappearance of resonance, as this implies the absence of large energy flows from small to large harmonics, which in turn precludes the appearance of turbulence. Thus, obtaining uniform global estimations of the Fourier transform of solutions of the Navier-Stokes equations means that the principle modeling of complex flows and related calculations will be based on the Fourier transform

method. The authors are continuing to research these issues in relation to a numerical weather prediction model; this paper provides a theoretical justification for this approach. Consider the Cauchy problem for the Navier-Stokes equations:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} - \nu \Delta \vec{v} + (\vec{v}, \nabla \vec{v}) = -\nabla p + \vec{f}(x, t), \operatorname{div} \vec{v} = 0, \quad (5)$$

$$\vec{v}|_{t=0} = \vec{v}_0(x) \quad (6)$$

in the domain $Q_T = R^3 \times (0, T)$, where :

$$\operatorname{div} \vec{v}_0 = 0. \quad (7)$$

The problem defined by (5), (6), (7) has at least one weak solution (\vec{v}, p) in the so-called Leray–Hopf class [16]. The following results have been proved [15]:

Theorem 4 *If*

$$\vec{v}_0 \in W_2^1(R^3), \quad \vec{f}(x, t) \in L_2(Q_T),$$

there is a single generalized solution of (5), (6), (7) in the domain $Q_{T_1}, T_1 \in [0, T]$, satisfying the following conditions:

$$\vec{v}, \nabla^2 \vec{v}, \quad \nabla p \in L_2(Q_T).$$

Note that T_1 depends on \vec{v}_0 and $\vec{f}(x, t)$.

Lemma 11 *Let $\vec{v}_0 \in W_2^2(R^3), \vec{f} \in L_2(Q_T)$, Then the solution of (5), (6), (7) satisfies the following inequalities:*

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \|\vec{v}\|_{L_2(R^3)}^2 + \nu \int_0^t \|\nabla \vec{v}\|_{L_2(R^3)}^2 d\tau \leq \|\vec{v}_0\|_{L_2(R^3)}^2 + \|\vec{f}\|_{L_2(Q_T)}.$$

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \|\vec{\nabla} v\|_{L_2(R^3)}^2 + \nu \int_0^t \|H_0 \vec{v}\|_{L_2(R^3)}^2 d\tau \leq$$

$$\|\nabla \vec{v}_0\|_{L_2(R^3)}^2 + \|\vec{f}\|_{L_2(Q_T)} + \int_0^t \|(\vec{v}, \nabla \vec{v})\|_{L_2(R^3)} \|H_0 \vec{v}\|_{L_2(R^3)}$$

$$\nu \int_0^t \|H_0 \vec{v}\|_{L_2(R^3)}^2 d\tau \leq C + \frac{1}{\nu} \int_0^t \|(\vec{v}, \nabla \vec{v})\|_{L_2(R^3)}^2 dt$$

Lemma 12 Let $\vec{v}_0 \in W_2^2(R^3)$, $\vec{\tilde{v}}_0 \in W_2^2(R^3)$, $\vec{f} \in L_2(Q_T)$, Then the solution of (5), (6), (7) satisfies the following inequalities:

$$\vec{\tilde{v}} = \vec{\tilde{v}}_0 + \int_0^t e^{-\nu k^2(t-\tau)} ([(\vec{v}, \nabla) \vec{v}] + \vec{F}) d\tau,$$

where $\vec{F} = -\nabla p + \vec{f}$.

Proof. This follows from the definition of the Fourier transform and the theory of linear differential equations.

Let us introduce operators $F_k, F_{kk'}$, as

$$F_k f = \int_{R^3} e^{i(k,x)} f(x) dx, \quad F_{kk'} f = \int_{R^3} e^{i(k,x)-i(x,k')} f(x) dx$$

$$\vec{\tilde{v}}(k) = F_k \vec{v}, \quad \vec{V}(k, k') = F_{kk'} \vec{v} = \int_{R^3} e^{i(k,x)-i(x,k')} \vec{v} dx$$

Lemma 13 Let $\vec{v}_0 \in W_2^2(R^3)$, $\vec{f} \in L_2(Q_T)$, $|TKV_0| + |TKV_0| + |TK^2V_0\vec{\tilde{v}}_0| < C$. Then, the solution of (5), (6), (7) in Theorem 4 satisfies the following inequalities:

$$|\vec{v}(k)| < C,$$

$$|TK\vec{v}(k)| < C_0 \|v\|_{L_2(R^3)} + \frac{C_0 t}{\sqrt{\nu}} \|\nabla v\|_{L_2(R^3)} \|v\|_{L_2(R^3)}.$$

Lemma 14 Let $\vec{v}_0 \in W_2^2(R^3)$, $\vec{f} \in L_2(Q_T)$, $|TKV_0| + |TKV_0| + |TK^2V_0\vec{\tilde{v}}_0| + C$. Then, the solution of (5), (6), (7) in Theorem 4 satisfies the following inequalities:

$$|\vec{V}(k, k')| < C, \quad k|\vec{V}(k, k')| < \frac{C}{\sqrt{(1 - \cos(\theta))}}$$

$$|T\vec{V}K| < C_0 \|v\|_{L_2(R^3)} + \frac{C_0 t}{\sqrt{\nu(1 - \cos(\theta))}} \|\nabla v\|_{L_2(R^3)} \|v\|_{L_2(R^3)}$$

Theorem 5 Let $\vec{v}_0 \in W_2^2(R^3)$, $\vec{f} \in L_2(Q_T)$, $\vec{\tilde{f}} \in W_2^{2,1}(Q_T)$, $|TKV_0| + |TKV_0| + |TK^2V_0\vec{\tilde{v}}_0| < C$. Then, the solution of (5), (6), (7) in Theorem 4 satisfies the following inequalities:

$$\sup_{x \in R^3} \|\vec{v}(x)\| < C$$

$$\|\nabla \vec{v}\|_{L_2(R^3)} + \nu \int_0^t \int_{R^3} |H_0 \vec{v}|^2 dx d\tau \leq const$$

Theorem 5 asserts the global solvability and uniqueness of the Cauchy problem for the Navier-Stokes equations.

6 Discussion

As noted in the introduction, the key method of investigating the Cauchy problem for the Navier-Stokes equations is its reduction to the Poincaré-Riemann-Hilbert problem. Really studying the wave functions for the Schrödinger equation by the generated velocity components, we obtain unique estimates for the maximum velocity. Uniform global estimations of the Fourier transform of solutions of the Navier–Stokes equations indicate that the principle modeling of complex flows and related calculations can be based on the Fourier transform method. In terms of the Fourier transform, under both smooth initial conditions and right-hand sides, no appear exacerbations appear in the speed and pressure modes. A loss of smoothness in terms of the Fourier transform can only be expected in the case of singular initial conditions, or of unlimited forces in $L_2(Q_T)$. The theory developed by us is supported by numerical calculations carried out in the works [18-20] Where the dependence of the smoothness of the solution on the oscillations of the system is clearly deduced.

7 Reduction of the Riemann hypothesis to the Poincaré-Riemann-Hilbert problem

This study is concerned with the properties of modified zeta functions. Riemann's zeta function is defined by the Dirichlet series

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}, \quad s = \sigma + it, \quad (8)$$

which is absolutely and uniformly convergent in any finite region of the complex s -plane for which $\sigma \geq 1 + \varepsilon, \varepsilon > 0$. If $\sigma > 1$, then ζ is represented by the following Euler product formula

$$\zeta(s) = \prod_p \left[1 - \frac{1}{p^s} \right]^{-1}, \quad (9)$$

where p runs over all prime numbers. $\zeta(s)$ was first introduced by Euler in 1737 [21], who also obtained formula (22). Dirichlet and Chebyshev considered this function in their study on the distribution of prime numbers [22]. However, the most profound properties of $\zeta(z)$ were only discovered later, when it was extended to the complex plane. In 1876, Riemann [23] proved that $\zeta(s)$ allows analytical continuation to the entire z -plane as follows:

$$\pi^{-\frac{s}{2}} \Gamma\left(\frac{s}{2}\right) \zeta(s) = \frac{1}{s(s-1)} + \int_1^{+\infty} \left(x^{\frac{s}{2}-1} + x^{-\frac{1+s}{2}}\right) \theta(x) dx, \quad (10)$$

where $\Gamma(z)$ is the gamma function and

$$\theta(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\pi n^2 x).$$

$\zeta(s)$ is a regular function for all values of s , except $s = 1$, where it has a simple pole with residue 1; moreover, it satisfies the following functional equation:

$$\pi^{-\frac{s}{2}} \Gamma\left(\frac{s}{2}\right) \zeta(s) = \pi^{-\frac{1-s}{2}} \Gamma\left(\frac{1-s}{2}\right) \zeta(1-s) \quad (11)$$

This equation is called Riemann's functional equation.

Riemann's zeta function is an important subject of study and has numerous interesting generalizations. The role of the zeta function is highly significant in number theory, where it is connected with various fundamental functions, such as the Möbius function, the Liouville function, the number of divisors, and the number of prime divisors. The detailed theory of zeta functions is presented in [24]. The zeta function has found application in various other fields, notably in quantum statistical mechanics and quantum field theory [25–27]. Riemann's zeta function is often introduced in quantum statistics formulas. A well-known example is the Stefan-Boltzman law of a black body's radiation. Its ubiquitous use in seemingly unrelated areas demonstrates the necessity for further investigation.

The present study is concerned with the analytical properties of the following generalized zeta functions:

$$P(s) = \sum_{j \geq 1} \frac{1}{p_j^s}, \operatorname{Re}(s) > 1 + \delta, \delta > 0,$$

where $\{p_j; j \geq 1\}$ is an increasing enumeration of all prime numbers. The form of $P(s)$ suggests that it possesses the same properties as the zeta function; however, this is not quite obvious and can be seen by considering

$$\ln(\zeta(s)) = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} P(ns)}{n}, f(s) = \ln(\zeta(s)) - P(s),$$

$$\operatorname{Re}(s) > 1 + \delta, \delta > 0. \quad (12)$$

Hadamard was the first to apply $P(s)$ in the study of the zeta function [28]. Chernoff made significant progress in the Riemann hypothesis using $P(s)$ [29]. In the present study, modifications of Chernoff's results are obtained. Specifically, his study on the pseudo zeta function is completed. Chernoff obtained an equivalent formulation of the Riemann hypothesis in terms of a pseudo zeta function as follows.

THEOREM. (Chernoff) Let

$$C(s) = \prod_{n>1} \left[1 - \frac{1}{(n \ln(n))^s} \right]^{-1}.$$

Then, $C(s)$ continues analytically into the critical strip and has no zeros there.

The significance of this theorem is that if the primes were distributed more regularly (i.e., if $p_n \equiv n \log n$), then the Riemann hypothesis would be trivially true. In an effort to further develop the work of Chernoff and Hadamard, the following question naturally arises: Does the pseudo zeta function $P(s)$ continue analytically into the critical strip? It should be noted that analytic extensions of $P(s)$ were first studied by E. Landau and A. Walvis [30] and T. Estermann [31], [32]; however, no satisfactory estimates for $P(s)$ were obtained, and the present study is concerned with this question.

THEOREM. (E. Landau, A. Walvis, T. Estermann)

Let $\mu(n)$ – function Möbius . Then,

$$P(s) = \sum_{n \geq 1} \frac{\mu(n) \ln \zeta(ns)}{n} \text{ as } \operatorname{Re}(s) > 1 + \delta, \quad \delta > 0,$$

$$\sum_{n \geq 1} \frac{\mu(n) \ln \zeta(ns)}{n} - \text{meromorphic function as } \operatorname{Re}(s) > \delta, \quad \delta > 0.$$

The paper is organized as follows. Intermediate estimates are first obtained for the $\ln \zeta(s)$. Subsequently, the sets where the logarithm of the zeta function is uniquely determined are defined. These sets are composed of rectangles in which the zeta function has no roots, and they cover the entire critical strip except for the rectangular regions in which the zeros of the zeta functions are located. In the rectangles in which there are no zeros of the zeta function, the real value of its logarithm can be defined, and in these sets, the mirror-symmetric equation that arises by taking the logarithm on both sides of the Riemann functional equation is investigated. Then, the Fourier transform is applied to it, and it is multiplied by a regulating factor. Thus, a Riemann–Hilbert boundary value problem is obtained for the $\ln \zeta(s)$. The properties of the solution to the Riemann–Hilbert boundary value problem are expressed in terms of the Hilbert integral transform. In the rectangles in which the zeta function has no roots, the Hilbert transform can be used to obtain exact lower bounds for the zeta function in the critical strip.

8 RESULTS for Riemann's zeta function

As mentioned in Introduction, certain simple intermediate estimates are first obtained.

The rectangles in which the zeta function has zeros are first introduced as follows:

$$D(n) = (s | 0.1 < \operatorname{Re}(s) < 0.9, \operatorname{Im}(s_n) - d_n \leq \operatorname{Im}(s) \leq \operatorname{Im}(s_n) + d_n$$

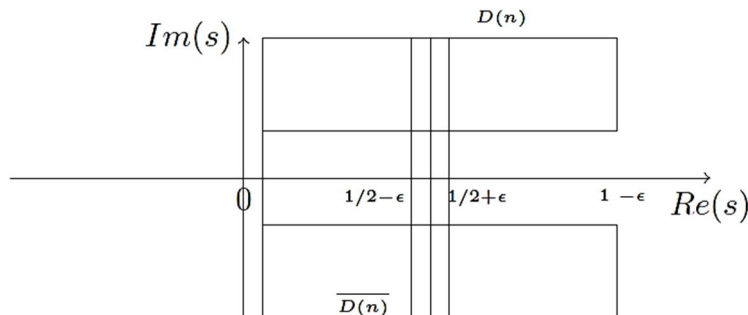
$$\overline{D(n)} = (s | 0.1 < \operatorname{Re}(s) < 0.9, -\operatorname{Im}(s_n) - d_n \leq \operatorname{Im}(s) \leq -\operatorname{Im}(s_n) + d_n,$$

where

$$\zeta(s_{n+1}) = 0, \zeta(s_n) = 0, \zeta(1 - s_n) = 0, \zeta(1 - s_{n+1}) = 0, \quad \zeta(1 - s_n) = 0,$$

$$d_n = (\operatorname{Im}(s_{n+1}) - \operatorname{Im}(s_n))/2$$

The sets of $D(n)$, is shown in the figure below.



Theorem 6 Let $s \in D_n \cup \overline{D(n)}$, $F(s) = \frac{s}{2} \ln(\pi) - \ln(\Gamma(s/2)) - \frac{1-s}{2} \ln(\pi) + \ln(\Gamma(1-s)/2)$. Then,

$$\sup_{s \in D_n \cup \overline{D(n)}} |F(\tau + i\alpha)| + \sup_{s \in D_n \cup \overline{D(n)}} \left| \frac{dF(\tau + i\alpha)}{d\tau} \right| < CC_n$$

Proof. As $0.1 < \tau < 0.9$ implies that F - is holomorphic which completes the proof.

As mentioned in Introduction, a Riemann–Hilbert boundary value problem should be obtained. To this end, an equation should be derived that determines the difference between the boundary values of the analytic functions in the upper plane and the lower plane. Denote

$$Q(s) = \operatorname{Re}(\ln(\zeta(s))) = \ln(|\zeta(s)|).$$

Theorem 7 Let $s \in D(n)$ or $s \in \overline{D(n)}$ and

$$F(s) = \frac{s}{2} \ln(\pi) - \ln(\Gamma(s/2)) - \frac{1-s}{2} \ln(\pi) + \ln(\Gamma(1-s)/2).$$

Then,

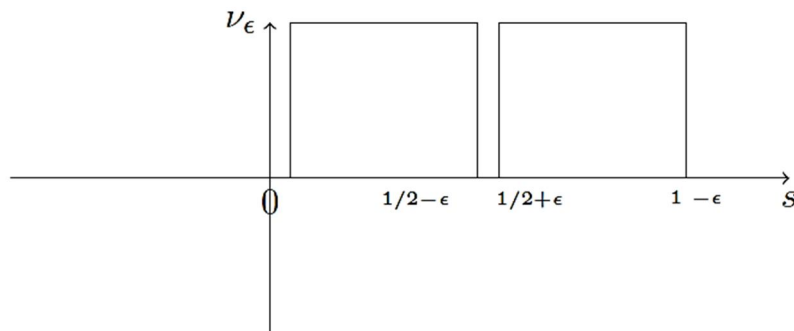
$$Q(s) = Q(1-s) + \operatorname{Re}(F(s))$$

Proof. The Riemann equation (3) can be logarithmized for $s \in D(n)$ or $s \in \overline{D(n)}$, and an equation for $Q(s)$ may be obtained as an equation for the real part.

As the resulting equation is not suitable for the formulation of a Riemann–Hilbert boundary value problem, a number of transformations should be performed. Certain preliminary arguments suggest that the Fourier transform is an appropriate choice. In Riemann–Hilbert boundary value problems, the asymptotic behavior of the unknown functions is highly important. To ensure this behavior, it is necessary to have estimates for the derivatives. The evaluation of the derivatives is usually carried out by integration by parts. Thus, the following functions are introduced:

$$\begin{cases} v_\varepsilon(s) = 0, & \operatorname{Re}(s) < 2\varepsilon; \\ v_\varepsilon(s) = 1, & \varepsilon < \operatorname{Re}(s) < 1/2 - 2\varepsilon; \\ v_\varepsilon(s) = 0, & 1/2 - 2\varepsilon < \operatorname{Re}(s) < 1/2 + 2\varepsilon; \\ v_\varepsilon(s) = 1, & 1/2 + 2\varepsilon < \operatorname{Re}(s) < 1 - 2\varepsilon; \\ v_\varepsilon(s) = 0, & \operatorname{Re}(s) > 1 - 2\varepsilon; \\ \psi(t) = \sigma e^{t^2-1}, & t^2 < 1; \frac{1}{\sigma} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{t^2-1} dt \\ \psi(t) = 0, & t^2 \geq 1; \\ \mu_\varepsilon(x) = \int \psi(s/\varepsilon) v_\varepsilon(x-t) dt / \varepsilon = \int \psi(x-t/\varepsilon) v_\varepsilon(t) dt / \varepsilon; \end{cases}$$

The graph of v_ε is shown in the figure below.



As the equation is multiplied by μ_ε , it should be verified that the symmetry of the equation for Q is not affected.

Lemma 15 For v_ε and μ_ε , we have $v_\varepsilon(x) = v_\varepsilon(1-x)$, $\mu_\varepsilon(x) = \mu_\varepsilon(1-x)$.

Lemma 16 Let $1/2 + 3\varepsilon < x < 1 - 3\varepsilon$. Then, $\mu_\varepsilon(x) = 1$.

Proof.

$$\mu_\varepsilon(x) = \frac{\int \psi\left(\frac{s}{\varepsilon}\right) v_\varepsilon(x-s) ds}{\varepsilon} = \frac{\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \psi\left(\frac{s}{\varepsilon}\right) v_\varepsilon(x-s) ds}{\varepsilon} = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \psi(s/\varepsilon) ds/\varepsilon = 1.$$

To compute the Fourier transform of the equation for Q , the functions $R(k)$, $Q_\varepsilon(s)$, $Q_\varepsilon(1-s)$, $Re(F_\varepsilon(s))$, the Fourier transform of $Q_\varepsilon(s)$, the Fourier transform of $Q_\varepsilon(1-s)$, the Fourier transform of $F_\varepsilon(s)$, are introduced as follows:

$$Q_\varepsilon(s) = Q(s)\mu_\varepsilon(Re(s)), \quad Q_\varepsilon(1-s) = Q(1-s)\mu_\varepsilon(1-Re(s))$$

$$R(k) = \frac{e^{-ik}}{k-ia} - 1, \quad F_\varepsilon(s) = Re(F(s))\mu_\varepsilon(Re(s));$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} Q_\varepsilon(1-\tau-i\alpha)e^{-ik\tau} d\tau = \frac{e^{-ik}}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} \mu_\varepsilon(1-Re(s))Q_\varepsilon(\tau-i\alpha)e^{ik\tau} d\tau;$$

$$\widetilde{Q}_\varepsilon(k, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} Q_\varepsilon(\tau+i\alpha)e^{-ik\tau} d\tau,$$

$$\widetilde{F}_\varepsilon(k, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} Re(F_\varepsilon(\tau+i\alpha))e^{-ik\tau} ds.$$

$$\begin{aligned} J_\varepsilon(k, \alpha) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} Q_\varepsilon(\tau-i\alpha)e^{ik\tau} d\tau, \quad I_\varepsilon(k, \alpha) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0.1}^{0.9} Q_\varepsilon(\tau+i\alpha)e^{-ik\tau} d\tau. \end{aligned} \quad (13)$$

To obtain the Riemann-Hilbert boundary value problem, the following lemma is required.

Lemma 17 Let $a > 2$ then $ind(R) = 0$

To obtain the necessary asymptotics, the following lemma is required.

Lemma 18 *Let*

$$a > 2$$

then $\ln(R(k))$ is single-valued analytical function in lower half plane.

Denote $\Omega(s) = Re(s - s_n)$, $\omega(s) = (s - s_n)(s - 1 + s_n)$ To obtain the necessary asymptotics, the following lemma is required.

Lemma 19 *Let $\gamma = 1/4$ and $|\Omega(1/2)| = \varepsilon_n > 0$, $d_n = (Im(s_{n+1}) - Im(s_n))/2$
Then, we have the following estimate as $\varepsilon = 0.1\varepsilon_n$:*

$$\sup_{Im s_n - d_n \leq \alpha \leq Im s_n + d_n} \int_{0.1}^{0.9} |Q_\varepsilon(\tau + i\alpha)|^2 + |Q_\varepsilon(\tau + i\alpha)| d\tau < C_n C_{\varepsilon_n} C_\gamma.$$

$$\sup_{-Im s_n - d_n \leq \alpha \leq -Im s_n + d_n} \int_{0.1}^{0.9} |Q_\varepsilon(\tau - i\alpha)|^2 + |Q_\varepsilon(\tau - i\alpha)| d\tau < C_n C_{\varepsilon_n} C_\gamma.$$

$$\sup_{Im s_n - d_n \leq \alpha \leq Im s_n + d_n} \int_{0.1}^{0.9} |F_\varepsilon(\tau + i\alpha)|^2 + |F_\varepsilon(\tau + i\alpha)| d\tau < C_n C_{\varepsilon_n} C_\gamma.$$

$$\sup_{-Im s_n - d_n \leq \alpha \leq -Im s_n + d_n} \int_{0.1}^{0.9} |F_\varepsilon(\tau - i\alpha)|^2 + |F_\varepsilon(\tau - i\alpha)| d\tau < C_n C_{\varepsilon_n} C_\gamma.$$

The previous constructions allow the calculation of the asymptotics as follows.

Lemma 20 *Let $(3/4 + i\alpha) \in D(n)$. Then*

$$\lim_{Im(k) \rightarrow -\infty} I_\varepsilon(k, \alpha) = 0, \quad \lim_{Im(k) \rightarrow \infty} J_\varepsilon(k, \alpha) = 0. \quad (14)$$

and as $Im(k)=0$

$$\lim_{Re(k) \rightarrow \infty} I_\varepsilon(k, \alpha) = 0, \quad \lim_{Re(k) \rightarrow \infty} J_\varepsilon(k, \alpha) = 0. \quad (15)$$

For $f \in W_2^1(R) = \{f \in L_2(R): (1 + |\omega|^2)^{1/2} \hat{f}(\omega) \in L_2\}$, the operators T_\pm and T are defined as follows:

$$T_+ f = \frac{1}{2\pi i} \lim_{Imz \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(s)}{s - z} ds, Imz > 0, T_- f = \frac{1}{2\pi i} \lim_{Imz \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(s)}{s - z} ds, Imz < 0.$$

$$Tf = \frac{1}{2}(T_+ + T_-)f.$$

These operators are closely related to the Hilbert transform, whose isometric properties were studied by Poincaré. The following result is from [33].

Lemma 21

$$TT = \frac{1}{4}I, TT_+ = \frac{1}{2}T_+, TT_- = -\frac{1}{2}T_-, \quad T_+ = T + \frac{1}{2}I, T_- = T - \frac{1}{2}I,$$

where I is the identity operator $If = f$.

The reduction to a Riemann–Hilbert boundary value problem can now be formulated as follows.

Theorem 8 *Let*

$$\left(\frac{3}{4} + i\alpha\right) \in D(n), a > 2 \quad (16)$$

$$\Gamma_+(k) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln(R(t)) dt}{t - k - i0} \quad (17)$$

$$\Gamma_-(k) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln(R(t)) dt}{t - k + i0} \quad (18)$$

$$X_+(k) = e^{\Gamma_+(k)}, \quad X_-(k) = e^{\Gamma_-(k)}, \quad R(k) = \frac{X_-(k)}{X_+(k)}, \quad G_\varepsilon(k, \alpha) = J_\varepsilon(k, \alpha). \quad (19)$$

Then,

$$J_\varepsilon(k, \alpha) = -\frac{X_+(k)}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_\varepsilon(t, \alpha)}{X_-(t)} \frac{dt}{t - k - i0} = X_+(k) T_+ \frac{G_\varepsilon}{X_-}$$

$$\frac{I_\varepsilon(k, \alpha)}{k - i\alpha} - \frac{\tilde{F}_\varepsilon(k, \alpha)}{k - i\alpha} = -\frac{X_-(k)}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_\varepsilon(t, \alpha)}{X_-(t)} \frac{dt}{t - k + i0} dt = X_-(k) T_- \frac{G_\varepsilon}{X_-}$$

9 DISCUSSION

Our computations led to a new definition of the functions $I_\varepsilon(k), J_\varepsilon(k)$, which we obtained from the Poincaré–Riemann–Hilbert problem. boundary-value problem. From the uniqueness of the solution of the Riemann–Hilbert boundary value problem - functions $I_\varepsilon(k), J_\varepsilon(k)$, defined earlier in (21) and obtained from the Hilbert formula are equal!

To obtain the final estimates for the zeta function, the isometric properties of the integral Hilbert transform will be used.

Theorem 9 *Let $(3/4 + i\alpha) \in D(n)$ and $a > 2$. Then,*

$$C^{-1} < |X_-(t)| < C, \quad C^{-1} < |X_+(t)| < C.$$

$$\|\Psi_+\|_{L_2} \leq C_\varepsilon, \quad \|\Psi_-\|_{L_2} \leq C_\varepsilon,$$

Theorem 10 *Let $s \in D(n) \cup \overline{D(n)}$ and $a > 2$, with $1/2 + 3\varepsilon < \operatorname{Re}(s) < 1 - 3\varepsilon$. Then,*

$$|Q(s)| < C_n C_\varepsilon.$$

As mentioned in Introduction, the values of the zeta function in adjacent rectangles should be compared. This will be carried out in the following theorem.

Theorem 11 *The Riemann's function has nontrivial zeros only on the line $\operatorname{Re}(s) = 1/2$.*

10 Conclusions

As can be seen from the results obtained, the genius of such Poincaré scholars, Riemann and Hilbert, still illuminates the path of modern scholars. An example of such a complicated problem as the Cauchy problem for the Navier-Stokes equation shows how the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary value problem allows us to construct effective estimates of solutions for this case. For this, the apparatus of the three-dimensional inverse problem of the theory of quantum scattering develops. It is shown that the unitary scattering operator can be investigated as a solution of the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary-value problem. This allows us to continue studying the potential in the Schrodinger equation, which we consider as a velocity component in the Navier-Stokes equation. The same scheme of reduction of Riemann integral equations for the zeta function to the Poincaré-Riemann-Hilbert boundary value problem enables us to construct effective estimates that describe the behavior of the zeros of the zeta function well. Summarizing it is possible to tell these outstanding scientists the problems have been formulated and all modern methods of their decision are put in pawn.

11 ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, in particular, Academician NAS RK B.Zhumagulov for constant attention and support. Moreover, the author thanks the Mathematics seminar at the Kazakhstan branch of the Moscow State University for attention and valuable comments, as well as Professors B. Kanguzhin and M. Otelbaev, and the organizers of Automorphicformsworkshop.org/AFW2018 for their detailed review and valuable comments. The author is especially grateful to Professor Steven Miller for a thorough analysis of the work and detailed recommendations that have significantly improved the paper. The author is especially grateful to Professor Plotnikov P.I for a thorough analysis of the work and detailed recommendations that have significantly improved the paper.

References

- [1] Terence Tao, Finite time blowup for an averaged three-dimensional Navier-Stokes equation, -arXiv:1402.0290 [math.AP]
- [2] L. D. Faddeev, The inverse problem in the quantum theory of scattering. II, Itogi Nauki i Tekhniki. Ser. Sovrem. Probl. Mat., 3, VINITI, Moscow, 1974, 93180

- [3] CHARLES L. FEFFERMAN Existence and Smoothness of the Navier-Stokes Equation. The Millennium Prize Problems, 5767, Clay Math. Inst., Cambridge, MA, 2006.
- [4] J.S.Russell «Report on Waves»: (Report of the fourteenth meeting of the British Association for the Advancement of Science, York, September 1844 (London 1845), pp 311390, Plates XLVII-LVII)
- [5] J.S.Russell (1838), Report of the committee on waves, Report of the 7th Meeting of British Association for the Advancement of Science, John Murray, London, pp.417-496.
- [6] Mark J. Ablowitz, Harvey Segur Solitons and the Inverse Scattering Transform SIAM, 1981- p. 435.
- [7] N.J.Zabusky and M.D.Kruskal (1965), Interaction of solitons in a collisionless plasma and the recurrence of initial states, Phys.Rev.Lett., 15 pp. 240243.
- [8] R.G Newton, New result on the inverse scattering problem in three dimentions, Phys. rev. Lett. v43, 8,pp.541-542,1979
- [9] R.G Newton, Inverse scattering Three dimensions, Jour. Math. Phys. 21, pp.1698-1715,1980
- [10] Somersalo E. et al. Inverse scattering problem for the Schrodinger's equation in three dimensions: connections between exact and approximate methods. 1988.
- [11] Tables of integral transforms. v.I McGraw-Hill Book Company, Inc.1954
- [12] Poincare H., Lecons de mecanique celeste, t. 3, P., 1910.
- [13] Leray, J. (1934). "Sur le mouvement d'un liquide visqueux emplissant l'espace". Acta Mathematica 63: 193248. doi:10.1007/BF02547354.
- [14] O.A. Ladyzhenskaya, Mathematic problems of viscous incondensable liquid dynamics. - M.: Science, 1970. - p. 288
- [15] Solonnikov V.A. Estimates solving nonstationary linearized systems of Navier-Stokes' Equations. - Transactions Academy of Sciences USSR Vol. 70, 1964. - p. 213 – 317.
- [16] On global weak solutions to the Cauchy problem for the Navier-Stokes equations with large L³-initial data Seregin, G; Sverak, V; NONLINEAR ANALYSIS-THEORY METHODS and APPLICATIONS volume 154 page 269-296 (May 2017) Estimates of solutions to the perturbed Stokes system
- [17] V. Vialov, T. Shilkin Notes of the Scientific Seminars of POMI, 410 (2013), 524
- [18] F. Mebarek-Oudina R. Bessah, Magnetohydrodynamic Stability of Natural Convection Flows in Czochralski Crystal Growth. World Journal of Engineering, vol. 4 no.4, pp. 1522, 2007.
- [19] F. Mebarek-Oudina and R. Bessah, Oscillatory Mixed Convection Flow in a Cylindrical Container with Rotating Disk Under Axial Magnetic Field and Various Electric Conductivity Walls, I. Review of Physics, 4(1) 45-51, 2010. .
- [20] F. Mebarek-Oudina, Numerical modeling of the hydrodynamic stability in vertical annulus with heat source of different lengths, Engineering Science and Technolgy, an International Journal, 20, 1324-1333

- [21] Leonhard Euler. Introduction to Analysis of the Infinite by John Blanton (Book I, ISBN 0-387-96824-5, Springer-Verlag 1988;)
- [22] Chebyshev P.L. Fav. mathematical works, .-L., 1946;
- [23] Riemann, G. F. B. On the Number of Prime Numbers less than a Given Quantity New York: Chelsea, 1972.
- [24] E. C. Titchmarsh (1986). The Theory of the Riemann Zeta Function, Second revised (Heath-Brown) edition. Oxford University Press.
- [25] Ray D., Singer I. M. R-torsion and the laplacian on Riemannian manifolds. Adv. in Math., 1971, vol. 7, p. 145210.
- [27] Bost J.-B. Fibres determinants, determinants regularises et mesures sur les espaces de modules des courbes complexes, Sem. Bourbaki, 39 eme annee 1986-1987.
- [28] Kawagoe K., Wakayama M., Yamasaki Y. The q-Analogues of the Riemann zeta, Dirichlet L-functions, and a crystal zeta-function. Forum Math, 2008, vol. 1, p. 126.
- [29] Hadamard J. Une application d'une formule inteorale relative aux series de Dirichlet, Bull. Soc. Math, de France, 56 A927), 4344.
- [30] Paul R. Chernoff A pseudo zeta function and the distribution of primes PNAS 2000 97 (14) 7697-7699; doi:10.1073/pnas.97.14.7697 A933),
- [31] Landau E., Walfisz A. Ober die Nichtfortsetzbarkeit einiger durch Dirichletsrhe Reihen defi- nierter Funktionen, Rend, di Palermo, 44 A919), 8286. Congress Cambridge 1912, 1,
- [32] Estarmann T. On certain functions represented by Dirichlet series, Proc. Lond. Math. Soc. (2), 27 1928, 435448.
- [33] Estarmann T. On a problem of analytic continuation, Proc. Lond. Math. Soc, 27 1928, 471482.
- [34] Poincaré H., Lecons de mecanique celeste, t. 3, P., 1910.

COMPUTATIONAL METHODS FOR SOLVING OF PROBLEMS WITH PARAMETER FOR SYSTEM OF INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

Assanova A.T., Bakirova E.A., Kadirbayeva Z.M.

*Institute of Mathematics and Mathematical Modeling CS MES RK, Kazakhstan,
Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK,
Kazakhstan*

e-mail: assanova@math.kz

Annotation. *A linear two-point problem with parameter for the system of Fredholm integro-differential equations with degenerate kernel is investigated. Considered problem is reduced to an equivalent problem consisting of a special Cauchy problem for a system*

of Fredholm integro-differential equations with parameters and boundary and continuity conditions by the parametrization method. Conditions for the unique solvability of the investigated problem are established in the terms of the solvability of a system of algebraic equations with respect to parameters. Computational method for solving of equivalent problem is proposed. The results are illustrated by computational examples.

Consider the linear two-point boundary value problem with parameter for system of Fredholm integro-differential equations of following form

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + \sum_{k=1}^p \int_0^T \varphi_k(t)\psi_k(s)x(s)ds + B(t)\mu + f(t), \quad x \in R^n, \mu \in R^m, \quad t \in (0, T), \quad (1)$$

$$B_0\mu + B_1x(0) + B_2x(T) = x^0, \quad x^0 \in R^{n+m}, \quad (2)$$

where the $(n \times n)$ -matrices $A(t)$, $\varphi_k(t), \psi_k(s)$, $k = \overline{1, p}$, the $(n \times m)$ -matrix $B(t)$, and the n -vector function $f(t)$ are continuous on $[0, T]$, the $((n+m) \times m)$ -matrix B_0 , the $((n+m) \times n)$ -matrices B_1, B_2 are constants, $\|x\| = \max_{i=1, n} |x_i|$.

A solution to problem with parameter (1), (2) is a pair $(x^*(t), \mu^*)$, where the n -vector function $x^*(t)$ is continuous on $[0, T]$ and continuously differentiable on $(0, T)$, satisfies to integro-differential equation (1) for $\mu = \mu^*$, $\mu^* \in R^m$, and boundary condition (2).

For solving of problem with parameter (1), (2) we use of the approach proposed in [1]. This method is based on the algorithms of the parametrization method [2, 3] and numerical methods for solving of Cauchy problems.

The computational method for solving of problem with parameter (1), (2) includes a combination of the fourth-order Runge-Kutta method, Simpson's formula and the methods for finding the solution to systems of algebraic equations.

References

1. Dzhumabaev, D.S. On one approach to solve the linear boundary value problems for Fredholm integro-differential equations / D.S. Dzhumabaev // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2016. – Vol. 294, - P. 342-357.
2. Dzhumabayev, D.S. Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation / D.S. Dzhumabayev // U.S.S.R. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1989. – Vol. 29, No. 1. – P.

3. Dzhumabaev, D.S. A method for solving the linear boundary value problem for an integro-differential equation / D.S. Dzhumabaev // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2010. – Vol. 50, No. 7. – P. 1150-1161.

INFORMATION AND IMAGING TECHNOLOGIES FOR LEARNING BRAIN FUNCTIONS

Dzalilov Z.¹, Kalizhanova A.², Kozhakhmet B.², Iskakova M.²

¹Federation University, Victoria, Australia,

² Institute of Information and Computing Technologies of the Ministry of
Education and Science of the Republic of Kazakhstan
Almaty, Kazakhstan

e-mail: kalizhanova.aliya@mail.ru, banu.kozhakhmet@mail.ru,
iskakovamolya@gmail.com

Abstract. *The importance of interdisciplinary and collaborative learning and research has long been recognised as a valuable strategy for learning. The opportunities for global networking have become much more accessible through relatively recent advances in technology and transport.*

We live in a transnational community where engagement with colleagues across continents is a regular occurrence. However, interdisciplinary and inter cultural collaborations often present challenges in terms of finding a common set of understandings and language to progress discovery and innovation. This paper discusses the importance of Information and Imaging Technologies for designing learning environments for brain functions

Introduction

The importance of interdisciplinary and collaborative learning and research has long been recognized as a valuable strategy for learning. We propose to consider the following research issues for the platform, to build the skeleton of the paper: Information and Imaging technologies for learning brain functions. This research has a strong connection to theory and its applications to Brain Complex Networks.

The strategies are drawn from experiences working on “brain data analysis” where complex mathematical processes of “optimization” and “data mining” are being applied to large datasets. The paper also illustrates how the strategies devised to design these optimal learning environments align with the recent neurological findings on how the brain functions. This is the most interesting problem, and it is still a very new area of research despite of too many researchers concerned with the problem of the function of the brain. Various models designed for understanding of this unique element of the human body that

controls the rest of the functions of body systems. We consider brain network as the most powerful information processing system. Using modern Imaging technologies, we can extract and design large scale brain data sets.

Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) technique is the most advanced source for collection of brain data sets. Development and evaluation of advanced machine learning techniques for these data sets is a very special area of research, which connects to Neuroscience.

Brain Complex Networks

Brain networks are collections of brain regions and interregional anatomical or functional connections. Anatomical connections typically correspond to interregional white matter tracts, while functional connections correspond to temporal correlations in activity, and may occur between pairs of anatomically unconnected regions. Depending on the measure, functional connections may represent linear or nonlinear interactions between regions, as well as interactions at different time scales.



Figure 1- microscale (C.elegans)

microscale (H.sapiens)

Functional MRI has allowed an unprecedented capacity for studying brain activity in living humans. Most recently, the technological sophistication of functional MRI acquisitions has allowed the generation of increasingly accurate and robust high-resolution functional brain networks during a no-task condition (in the “resting state”). A small number of targeted statistical network measures applied to such networks provide a remarkable amount of information about the global and local properties of these networks. Early characterizations of these resting-state functional network topologies showed that functional network properties are heritable, change with ageing and with administration of neuropharmacological agents, and are altered in several neurological and psychiatric disorders.

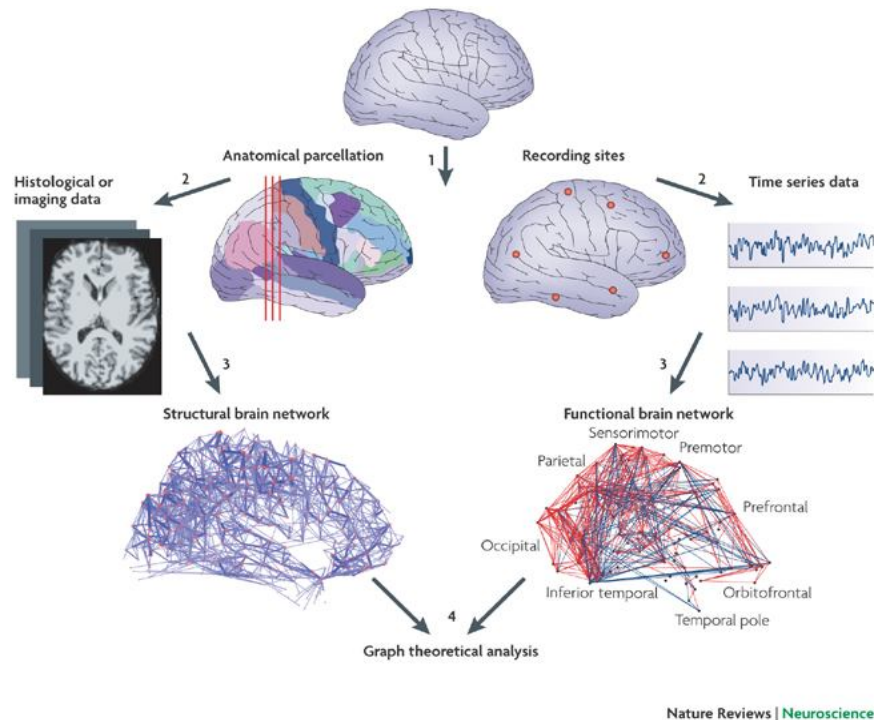


Figure 2- Graph theoretical analysis

Brain networks as information processing systems

From a conceptual perspective, there is converging evidence that information processing in the brain occurs in networks of brain regions and interregional interactions.

We are considering brain *networks as information processing systems*, therefore a network analysis is essential for Brain Modeling, and for development of theoretical and methodological frameworks for understanding of *brain complex systems*.

Analysis of large scale datasets is fundamental for network analysis, and computational methods have become an important tool in the analysis of large biomedical data sets.

The use of linear and logistic regression is fundamentally limited due to their inability to deal with brain networks complex relationships. Therefore, optimization-based methods have the potential to be more effective analysis tools for *brain complex systems*.

It has been proved by the results of applications of some of these methods (clustering and classification algorithms in particular) to a given "brain data set".

Types of Brain Imaging Techniques

Brain imaging techniques allow doctors and researchers to view activity or problems within the human brain, without invasive neurosurgery. There are a number of accepted, safe imaging techniques in use today in research facilities and hospitals throughout the world.

Functional magnetic resonance imaging, or fMRI, is a technique for measuring brain activity. It works by detecting the changes in blood oxygenation and flow that occur in response to neural activity – when a brain area is more active it consumes more oxygen and to meet this increased demand blood flow increases to the active area. fMRI can be used to produce activation maps showing which parts of the brain are involved in a particular mental process.

Computed tomography (CT) scanning builds up a picture of the brain based on the differential absorption of X-rays. During a CT scan the subject lies on a table that slides in and out of a hollow, cylindrical apparatus. An x-ray source rides on a ring around the inside of the tube, with its beam aimed at the subjects head. After passing through the head, the beam is sampled by one of the many detectors that line the machine's circumference. Images made using x-rays depend on the absorption of the beam by the tissue it passes through. Bone and hard tissue absorb x-rays well, air and water absorb very little and soft tissue is somewhere in between. Thus, CT scans reveal the gross features of the brain but do not resolve its structure well.

Positron Emission Tomography (PET) uses trace amounts of short-lived radioactive material to map functional processes in the brain. When the material undergoes radioactive decay a positron is emitted, which can be picked up by the detector. Areas of high radioactivity are associated with brain activity.

Electroencephalography (EEG) is the measurement of the electrical activity of the brain by recording from electrodes placed on the scalp. The resulting traces are known as an electroencephalogram (EEG) and represent an electrical signal from a large number of neurons. EEGs are frequently used in experimentation because the process is non-invasive to the research subject. The EEG is capable of detecting changes in electrical activity in the brain on a millisecond-level. It is one of the few techniques available that has such high temporal resolution.

Magnetoencephalography (MEG) is an imaging technique used to measure the magnetic fields produced by electrical activity in the brain via extremely sensitive devices known as SQUIDS. These measurements are commonly used in both research and clinical settings. There are many uses for the MEG, including assisting surgeons in localizing a pathology, assisting researchers in determining the function of various parts of the brain, neurofeedback, and others.

Near infra red spectroscopy (NIRS) is an optical technique for measuring blood oxygenation in the brain. It works by shining light in the near infrared part of the spectrum (700-900nm) through the skull and detecting how much the reemerging light is attenuated. How much the light is attenuated depends on blood oxygenation and thus NIRS can provide an indirect measure of brain activity.

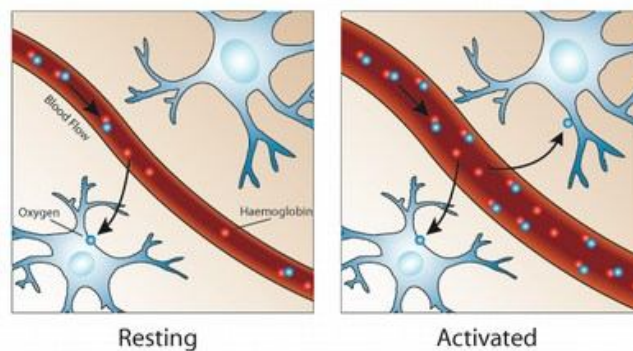
What is Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

Functional magnetic resonance imaging, or fMRI, is a technique for measuring brain activity. It works by detecting the changes in blood oxygenation and flow that occur in response to neural activity – when a brain area is more active it consumes more oxygen and to meet this increased demand blood flow increases to the active area. fMRI can be

used to produce activation maps showing which parts of the brain are involved in a particular mental process. The attractions of fMRI have made it a popular tool for imaging normal brain function – especially for psychologists. Over the last decade it has provided new insight to the investigation of how memories are formed, language, pain, learning and emotion to name but a few areas of research. fMRI is also being applied in clinical and commercial settings.

How Does an fMRI work?

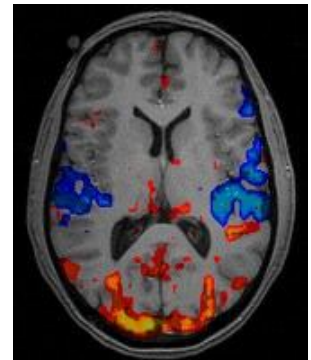
Oxygen is delivered to neurons by hemoglobin in capillary red blood cells. When neuronal activity increases there is an increased demand for oxygen and the local response is an increase in blood flow to regions of increased neural activity.



What does an fMRI Scan Look Like?

The image shown is the result of the simplest kind of fMRI experiment. In brain areas responding to the visual stimulus you would expect the signal to go up and down as the stimulus is turned on and off, depending on the delay in the blood flow response.

A recent brain imaging study helps explain how we learn to copy actions through observation. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) of participants' brains, while they watched someone else perform a task, suggests that areas of the brain are used in a similar way to when the person is actually moving. One of the most recently developed forms of neuroimaging, fMRI allows the observation of neural activity in the brain by tracking changes in the blood flow to neurons.



Functional Connectomes Project

http://www.nitrc.org/projects/fcon_1000

The 1000 Functional Connectomes Project is an international open-access database

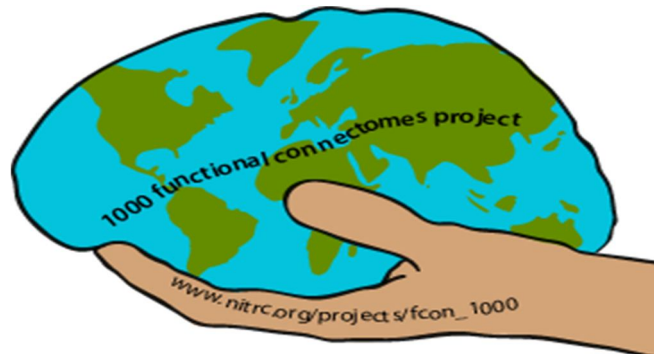


Figure 3- FCP Classic Collection

The era of discovery science for human brain function was inaugurated by the collaborative launch of the 1000 Functional Connectomes Project (FCP) on December 11, 2009. FCP entailed the aggregation and public release (via www.nitrc.org) of over 1200 resting state fMRI (R-fMRI) datasets collected from 33 sites around the world. In just over 6 months, the release generated over 9000 downloads and ~32,000 page-views from 1,223 cities in 78 countries.

1,000 Functional Connectomes Project is a collection of fMRI data sets donated by researchers from 35 centres around the world. This freely available resource includes data from more than 1,400 healthy subjects who underwent fMRI scans that assessed their brain activity when their minds were at rest (*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 4734–4739, 2010). The study showed that resting-state fMRI data— long thought of as nothing more than random, background noise—can be reliably pooled across scanners to unveil a universal architecture of activity connections within the brain.

Unlike task-based fMRI, which can be highly specific to the study site, the 1,000 Functional Connectomes resource allows for systematic explorations of healthy and diseased brains to discover hitherto unknown underlying differences. The effort takes its name from the Human Connectome Project, a \$30 million initiative launched by the US National Institutes of Health last year to map the entire physical circuitry of the healthy adult human brain. But functional connectivity and structural connectivity is not the same thing. Functional connections, for example, can span more than one synapse and can be modulated by emotion or sleep, whereas anatomical circuits are more or less fixed over the short term

Since having been posted online, the data set has been downloaded more than 4,500 times from researchers across 54 countries.

Resting state FMRI data sets

Functional MRI has allowed an unprecedented capacity for studying brain activity in living humans. Most recently, the technological sophistication of functional MRI acquisitions has allowed the generation of increasingly accurate and robust high-resolution

functional brain networks during a no-task condition (in the “resting state”). A small number of targeted statistical network measures applied to such networks provide a remarkable amount of information about the global and local properties of these networks. Early characterizations of these resting-state functional network topologies showed that functional network properties are heritable, change with ageing and with administration of neuropharmacological agents, and are altered in several neurological and psychiatric disorders.

Methods for analysis of fMRI data sets

This is a new era of discovery science for human brain function through active data-sharing by the neuroimaging community.

It is a great successful widespread involvement of the broader scientific community (e.g., statisticians, engineers, computer scientists, and mathematicians), for the development and application of analytic techniques to brain data for understanding of brain function.

We suggest the following algorithms for brain data analysis

Feature (gene) selection algorithms:

1. Feature selection on the use of clustering algorithms. This algorithm computes centres of classes and delete features which are close each other in the values of centres.
2. Feature (gene) selection based on overlapping. This algorithm uses hyper-boxes to approximate classes and ranks of features depending on the value overlaps between hyper-boxes.

Classification algorithms:

1. Algorithms based on clustering on classes. It computes clusters for each classes and then cluster centres to classify new observations.
2. Max-min separability algorithm. This algorithm computes piecewise linear functions separating classes and uses them to classify new observations.

Clustering algorithms:

1. Global k-means algorithm. It computes clusters incrementally.
2. Modified k-means algorithm. It computes clusters incrementally and computes as many clusters as a data set contains with respect to a given tolerance.
3. Optimization based clustering algorithm. It computes clusters incrementally and computes as many clusters as a data set contains with respect to a given tolerance. This algorithm is best in the sense of accuracy and most time-consuming among three algorithms.

Central is the concept of modeling: we should build the bridge from data analysis to brain modeling. For the prediction of survivability of brain networks, we should consider optimization models, such as dynamical reconfiguration, in the case of network failure and lifetime measure of the network.

From *large scale brain data sets*, we are moving to *big scale brain data sets*.

Considering human brain as high priority information processing system, these informatics, information technology and data analysis challenges are compounded by the complexity of problems. Our future success in bio data mining will depend critically on our ability to embrace and confront both the scale and the complexity of big data

References

1. Z. Dzalilov, A. Bagirov and M. Mammadov. Application of Optimization Based Data Mining Techniques to Medical Data Sets: A Comparative Analysis, IMMM 2012, Proceedings of The Second International Conference in Information Mining and Management, October, Venice, Italy, P: 41 to 46: **ISBN: 978-1-61208-227-1**;
2. Z. Dzalilov and A. Bagirov (2010). Cluster Analysis of a Tobacco Control Data Set. *International Journal of Lean Thinking*.1(2): 40-5.
3. Z. Dzalilov, J. Zhang, A. Bagirov and M. Mammadov (2010). Application of optimisation-based data mining technique to tobacco control dataset. *International Journal of Lean Thinking*.1(1):27-41.
4. G. Hafen, C. Hurst, J. Yearwood, M. Mammadov, J. Smith, Z. Dzalilov, P. Robinson. A new clinical scoring system in Cystic Fibrosis: Statistical tools for database analysis-a preliminary report. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 8: 44.
5. M.A. Mammadov, Rubinov A.M. and Yearwood, J. (2007), The study of drug-reaction relationships using global optimization techniques. *Optimization Methods and Software*, Volume 22, No: 1, 99-126.
6. M. Zarei and Z. Dzalilov (2009). Optimization of back-propagation neural networks architecture and parameters with a hybrid PSO/SA approach. *Proceedings of fifth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW 2009)*. Famagusta, North Cyprus.
7. Z. Dzalilov, A. Bagirov and M. Mammadov. Application of Optimization Based Data Mining Techniques to Medical Data Sets: A Comparative Analysis, IMMM 2012, Proceedings of The Second International Conference in Information Mining and Management, October, Venice, Italy, P: 41 to 46: **ISBN: 978-1-61208-227-1**;
8. Devlin, H. (2008). What is Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)?. *Psych Central*. Retrieved on March 22, 2012, from <http://psychcentral.com/lib/2007/what-is-functional-magnetic-resonance-imaging-fmri/>
9. Frey S. H. and Gerry V. E. Modulation of Neural Activity during Observational Learning of Actions and Their Sequential Orders. *Journal of Neuroscience*, Vol. 26, December 20, 2006, pp. 13194-13201.
10. Johnson-Frey S. H. The neural bases of complex tool use in humans. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 8, February 2004, pp. 71-78

COMPUTER AIDED DESIGN SYSTEMS USING SOLID-STATE MODELING

**Iskakova M.T.^{1,2}, Kalizhanova A.Y.^{1,2}, Togzhanova K.O.³,
Nabiyeva G.S.³, Aitkulov Zh.S.³, Amanzholova K.Y.³**

¹*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan*
²*Institute of Information and Computational Technologies of the Ministry of
Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty,*
³*Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
Almaty, Republic of Kazakhstan*
kalizhanova_aliya@mail.ru

Abstract. *The article about computer-aided design systems that implement information technology for the performance of design functions, as well as an overview of modern information approaches for modeling buildings.*

Keywords: *Computer aided design, modeling, solid automation, design, objects, construction, model, arhcad revit, operation.*

The computer-aided design system is an organizational and technical system for the design and production of project documentation, which in turn implements the information technology of design, automates the design process, and consists of a set of technical, software tools for designing involved in the automation process.

Solid modeling means a closed area of space filled with a "material". This is the creation of bodies that have all the attributes of a real physical body. A solid body is characterized by a multifaceted view and history of its creation. Also, solid-state models contribute to a better visual perception of the parts in comparison with wireframe or surface objects. Geometric models of solids are always mathematically accurate. The display of these models on the monitor screen is performed with the specified accuracy and depends on the size of the working area selected by the designer at the beginning of the session. Figure 1 shows an example of displaying a body on the monitor screen with a different degree of polygonize.

All solids are divided into basic and composite. Basic bodies or solid-state primitives are a parallelepiped, a cylinder, a sphere, a cone, etc. They are constructed with the indication of the formative lines and contours or by setting the values of the parameters. Conscious bodies are formed as a result of topological operations (Boolean functions of addition, subtraction, intersection) over basic bodies. In this case, the base bodies are called constructive elements of a complex body.

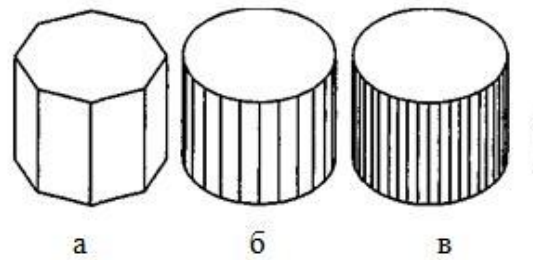


Figure 1 - display on the monitor screen of a cylinder with various coefficients of accuracy of the polyhedral representation: Rough (a), medium (b) and high (c) polygonization

Solid modeling operations allow you to create complex shapes by performing operations of union, intersection, and difference on constructive elements. The result is associative in the sense that if you change the location or details of the elements participating in the operation, the resulting elements will be updated automatically.

Note: There are a number of instructions for performing operations on volume morphs (morphs-bodies). Unlike conventional solid modeling operations, in which the element joins are created, operations on volume morphs are not associative, that is, the result of the operation is fixed (unchanged). [1]

Operations on volume morphs. Solid modeling operations can be performed in any model window. They are initiated by the commands:

Construction> operations of solid-state modeling to connect> solid modeling operations in the context menu of the selected element, see Figure 2.

Opened the Edit Goals and Operators panel. For detailed information on these control elements, see Objective and Operator Edit Panel (solid modeling operations).

In solid modeling operations, the elements of the following two roles are distinguished:

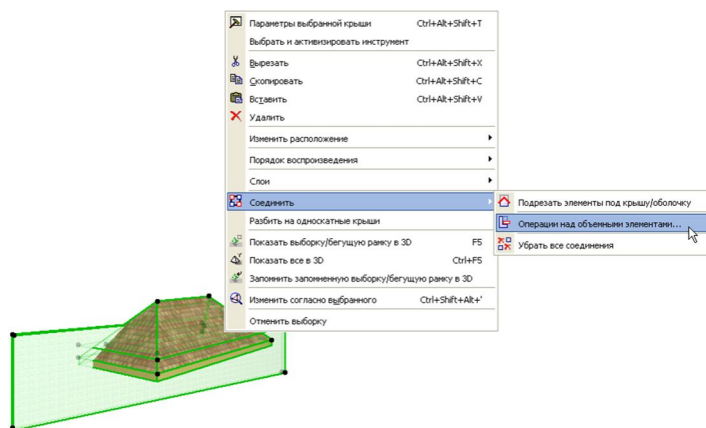


Figure 2 - construction of the operation of solid-state modeling in archicad

The operation has no effect on the element - operator. You can hide the layers of the operator elements after the operation. At the same time, the changed figure will remain the same. You can also specify that the operator layer is displayed in a wireframe that allows you to see the outlines of the operator elements.

In the example below, see Figure 3, the target wall shape was changed by subtracting the roof operator element from it. On the left, both elements are shown, in the middle part the roof layer is hidden, the skeleton mode of visualization is selected for the roof layer on the right.

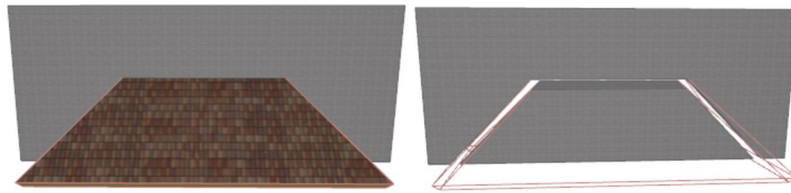


Figure 3 - change the shape of the wall by subtracting from it an element (roof operator)

The operator can influence many targets and the target can be affected by many operators. Any of the elements can act as a target and an operator, which allows you to invest in solid modeling operations. The operation is valid as long as the elements participating in it are present. If you want to give the created figure a permanent status, save it as a “gdl” object while in the 3d window.

Operations on solid figures do not affect the result of automatic intersection if the elements are located in layers with the same intersection number. Before performing operations on such elements, change the intersection number of the layers of one of these elements.

If you expect to perform an operation between the beams, then the operator must have at least the same priority number of the 3d intersection as the target. If the goal priority number is higher, the operation will lead to nothing. If the desired figure can only be obtained as a result of several nested operations, pay attention to the order of their execution. For example, an operator element can affect the target element, which in turn acts as an operator acting on another target element, and so on. [2]

Previously, to build models, designers used elements of geometry with known coordinate values. Their manual editing was a laborious process and often led to errors. Technical documentation was created by extracting the coordinates of the model elements and creating 2d drawings on their basis. As the methods of computer processing improve, it became possible to combine individual graphic elements, forming more complex components (walls, openings, etc.) from them. Models became more intelligent, and their editing was simplified. It was possible to create elements of models of complex shapes on the basis of surfaces and bodies.

However, the result was still a model with explicit coordinates of the elements, which was difficult to edit. The model had practically no connection with the drawings created on its basis: when changing the model, they had to be re-created. Then came the systems

that support parametric modeling, the essence of which is in the parameterization of the model elements. The parameters determine the behavior of each element of the model and its relationship to other elements. Let's consider two examples: "the diameter of this hole is always 2.5 cm" and "the center of this hole is located halfway between these edges," which means that design criteria and intentions determined on the basis of parameters are maintained throughout the work process. This approach greatly simplifies the editing of models and reduces the number of errors.

To model buildings, you need a parametric system that can automatically coordinate any changes. The arhicad revit platform was developed, specifically for this purpose see Figure 4.

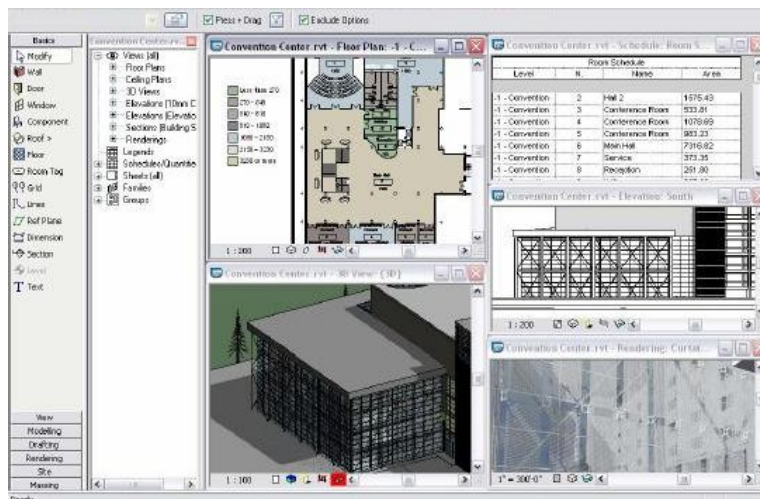


Figure 4 - the system of information modeling of buildings in arhicad, which supports parametric modeling, is able to coordinate all the changes made to the model, including those made in the documentation. 3D views and sheets of drawings, specifications and facades, sections and floor plans are corrected

This approach is justified when working with building models, which are always created sequentially from individual elements. The propagation of changes in models is selective and affects the minimum number of elements, increasing the speed of the program.

In fact, designing is the process of creating dependencies and manipulating them. Parametric modeling provides direct access to dependencies. Therefore, it is parametric modeling systems that allow designing buildings as easily as working with text in a text editor or performing calculations in a spreadsheet.

However, not all building information modeling systems really support parametric modeling. Below are the criteria that will help show the differences between parametric modeling and other technologies. These criteria allow you to check whether "sapr" supports your parametric modeling in full. In traditional arhicad, the user must define the elements of the model to which the changes are propagated. For example, he can select

these elements using a frame. If the model element is invisible or unavailable, the user will have to find and update it manually. In the parametric modeling system, like arhcad revit, the user can, for example, simply select and move the wall on the ground floor plan.

All related items will be updated automatically. The roof moves, preserving the given dependence of the eaves. External walls are automatically extended, as they must always be adjacent to the wall being moved. Support for the associativity of model elements is very important for building information modeling systems. Some programs contain command libraries or utilities that create / update drawings and specifications based on changes made to the building model. However, this is a one-way operation, and the users of arhcad must ensure that all changes have been made. In traditional arhcad, as a rule, explanatory elements are not included in the model. Meanwhile, it is known that the relationship between the documentation and the model directly depends on the degree of integration of the explanatory elements and the model of the building. In traditional arhcad, for example, the dimensions are plain text. At best, they are updated when the model elements change. In modern systems that support the coordination of changes, the reverse is also possible: editing a dimensional number leads to a corresponding change in the model element, to which the size refers.

The need for dependencies between all elements of the building is now felt most acutely. The strength of parametric modeling is the automatic control of dependencies for every change in the model.

A characteristic feature of information modeling of buildings is the creation and use of coordinated, internally agreed, system-calculated information about the projected building. Obtaining reliable information about the building is an important advantage of information modeling. Support for parametric modeling in arhcad, intended for building information modeling, improves the reliability, quality and internal consistency of the models and construction documentation created.

The use of specialized arhcad revit is designed specifically for building information modeling by a platform that fully supports parametric modeling. Traditional arhcad also allow you to create blueprints and tinted images. However, the models used in them do not differ in the high level of coordination, internal consistency and reliability characteristic of parametric modeling, see Figure 5. Rarely used for building information modeling due to the need to spend a lot of effort on entering and coordinating such construction-relevant information as specifications, estimates, work schedule, operational parameters, etc.

More advanced arhcad support work with elements of 3d models as with separate objects and their attributes. Users of such arhcad can create 2d drawings based on 3d models. Attributes of objects are used to create construction documentation. But even such systems allow creating only a graphic model of a building. To coordinate the modification of the model and its attributes stored in the database, you have to use additional tools. One such tool is the “solibri model checker”, which identifies inconsistencies and errors in the data. The larger the project, the more effort it takes to align the data, and the higher the probability of errors.

The parametric model of the building unites the actual 3d model and external data. The model is correctly updated when its individual elements are changed. On its basis all

working documentation is formed. All elements of the model are related by dependencies, when the model is changed, the documentation is updated automatically.

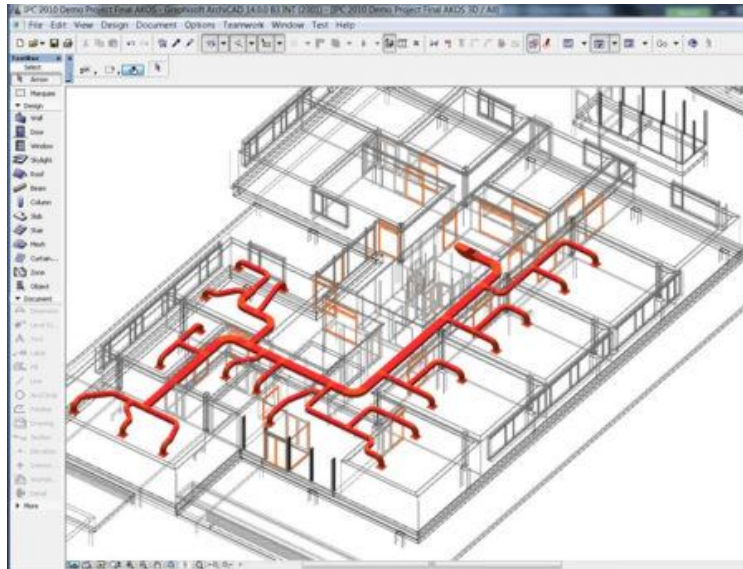


Figure 5 - Revit models can be directly imported into ArchiCAD using the Graphisoft Direct Connect plug-ins that they developed

The coordinated change of the model resembles the change in the cells of the spreadsheet, the values of which are given by formulas. Changes in any cell are automatically reflected in the entire table. In the same way, the system of parametric modeling of buildings provides a coordinated change of the building model and construction documentation in real time.

Arhacad revit provides optimization of the design process, allowing the architect to choose the most effective design solution, all possible versions of which are stored in one model, see Figure 3.12. The user can enable or disable visualization, preparation of specifications and calculations for various project options. The system maintains relationships within each project variant and performs an automatically coordinated change of the model elements.

Performing calculations. To date, most models do not contain enough information to calculate the performance of buildings. This applies to models developed in traditional arhacad. Users of such arhacad are forced to make calculations manually, spending a lot of time and money.

The parametric building model facilitates the task, since it contains all the data necessary to perform calculations. A detailed and reliable model allows them to be implemented already in the early stages of design. Designers can calculate the energy consumption themselves, changing the construction of the building in accordance with the results obtained. [3]

References

1. Means for implementing wireframe technology in Autodesk Inventor - <http://helpcenter.graphisoft.ru/rukovodstva/archicad>
2. Frame modeling, or the benefits of second derivatives - <http://www.interface.ru/home.asp?artId=22424>
3. Belyakov, SI Prospects for the development of the production potential of construction enterprises in modern conditions / SI Belyakov // Real Estate. Economy. Control. - 2009. - No. 1. - P. 54-57.
4. Blagoveshchensky FA, Architectural constructions. [textbook on specialties & quot; Architecture & quot;] - 2007
5. Ilyichev V. Yu. Fundamentals of designing ecobio-protective systems: Textbook / V. Yu. Ilyichev, AS Grinin; Ed. AS Grinina. -M.: UNITY-DANA, 2002. -207 p.
6. Isaev MI Theory of corrosion processes. Textbook. - Moscow: Metallurgy, 1997. - 344 p.

ON THE COEFFICIENT INVERSE PROBLEM OF HEAT CONDUCTION IN A DEGENERATING DOMAIN

¹Muvasharkhan Jenaliyev, ²Murat Ramazanov,
¹Madi Yergaliyev

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

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

muvasharkhan@gmail.com, ramamur@mail.ru, ergaliyev.madi.g@gmail.com

Abstract. *In the paper 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.*

Key words: *Coefficient inverse problem Heat equation Degenerating domain.*

1. Introduction

The inverse problems of this kind were investigated in the papers [1], [2] (see also literature from these works). In that papers it is assumed that the movable boundaries move according to the law obeying Holder class and the domain does not degenerate and the time interval is limited. There uniqueness and existence of the solution of the inverse problem where the required coefficient is a continuous function are established and numerical solutions are obtained.

The peculiarity of our study is that we consider the inverse problem for the heat equation in the degenerating angular domain. For the sake of simplicity and for the purpose of showing the effect of the degeneration of the domain, we consider the problem, where, firstly, the moving part of the boundary changes linearly; secondly, the boundary value problem is completely homogeneous; thirdly, the time interval is semi-bounded. It is known that when a domain degenerates at some points, the methods of separation of variables and integral transformations are generally not applicable to this type of problems. In this paper, to prove the existence of a non-trivial solution for the original problem we use the methods and results of our earlier works [3]–[6] where solutions are found with help of theory of thermal potentials and the Volterra integral equation of the second kind.

We also note works [7] and [8] devoted to the study of the existence of nontrivial solutions for partial differential equations, including for degenerating equations. In the paper [10] a theorem on the unique solvability of the non-homogeneous boundary value problem in weighted Holder spaces was obtained. We also note publications [11]–[15] of other authors that are close by category of this item of work.

The paper is divided as follows. In Section 2, we give statement of the problem. In Section 3, we give auxiliary inverse problem in infinite domain. In Section 4, we present equivalent form of auxiliary problem. Section 5 is devoted to existence of the nontrivial solution (up to a constant factor). Nontrivial solution of equivalent form of auxiliary inverse problem is described in Sections 5 and 6. Sections 7 and 8 are devoted to the mathematical justification of the solution of the auxiliary inverse problem obtained in sections 5 and 6. In Section 9 we establish the order of singularity of the solution of the original inverse problem for small values of independent variable t .

Finally, conclusions are made in Section 10.

2. Statement of the problem

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:

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

with homogeneous boundary conditions

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

suspect to the overspecification

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

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

3. The auxiliary problem

In accordance to the problem (1)–(3) we will set an auxiliary inverse problem in the domain $G_\infty = \{(x, t) | 0 < x < t, t > 0\}$:

$$u_t(x, t) = u_{xx}(x, t) - \lambda(t)u(x, t), \quad (4)$$

with homogeneous boundary conditions

$$u(x, t)|_{x=0} = 0, \quad u(x, t)|_{x=t} = 0, \quad t > 0, \quad (5)$$

subject to the overspecification

$$\int_0^t u(x, t) dx = \tilde{E}(t), \quad t > 0, \quad (6)$$

$$\tilde{E}(t) = \begin{cases} E(t), & 0 < t < T, \\ E_1(t), & T \leq t < \infty, \end{cases} \quad (7)$$

where $E_1(t) \geq \delta > 0$ -- an arbitrary bounded function.

Remark 1. Solving in G_∞ the problem (4)–(7) and restricting down its solution to the domain G_T , we can find a solution $\{u(x, t), \lambda(t); (x, t) \in G_T\}$ of the original inverse problem (1)–(3).

4. Equivalent problem

In the problem (4)–(6) we replace the required function by the following transformation

$$w(x, t) = e^{\int_0^t \lambda(s) ds} u(x, t) = \hat{\lambda}(t)u(x, t). \quad (8)$$

Then the inverse problem (4)–(6) reduces to a problem for a homogeneous heat equation:

$$w_t(x, t) = w_{xx}(x, t), \quad \{x, t\} \in G_\infty, \quad (9)$$

with homogeneous boundary conditions

$$w(x, t)|_{x=0} = 0, \quad w(x, t)|_{x=t} = 0, \quad t > 0, \quad (10)$$

subject to the overspecification

$$\int_0^t w(x, t) dx = \hat{\lambda}(t)\tilde{E}(t), \quad \tilde{E}(t) \geq \delta > 0, \quad t > 0. \quad (11)$$

5. On a nontrivial solution of the homogeneous boundary value problem (9)–(10)

It follows from our previous results [3]–[6] that a homogeneous boundary value problem (9)–(10) along with a trivial solution has a nontrivial solution up to a constant factor defined by formulas:

$$w(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{x^2}{4(t-\tau)}\right\} v(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x-\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x-\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi(\tau) d\tau, \quad (12)$$

$$v(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi(\tau) d\tau, \quad (13)$$

where function $\varphi(t)$ is defined according to the formula:

$$\varphi(t) = C\varphi_0(t), \quad C = \text{const} \neq 0, \quad (14)$$

$$\varphi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{t}{4}\right\} + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t}}{2}\right)\right], \quad (15)$$

moreover, the function $\varphi(t)$ belongs to the following class:

$$\theta(t)\varphi(t) \in L_\infty(R_+), \quad (16)$$

where

$$\theta(t) = \begin{cases} \sqrt{t} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\}, & \text{if } 0 < t \leq T, \\ 1, & \text{if } T < t < +\infty. \end{cases} \quad (17)$$

Substituting $v(t)$ (13) in (12), we obtain

$$w(x, t) = w_+(x, t) + w_-(x, t), \quad (18)$$

where

$$w_+(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x+\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x+\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi(\tau) d\tau, \quad (19)$$

$$w_-(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x-\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x-\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi(\tau) d\tau. \quad (20)$$

6. The solution of the inverse problem (9)–(11)

From (14) and (18)–(20) we obtain for the solution $w(x, t) = Cw_0(x, t)$ of the homogeneous boundary value problem (9)–(10) the following representation:

$$w_0(x, t) = w_{0+}(x, t) + w_{0-}(x, t), \quad (21)$$

where

$$w_{0+}(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x+\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x+\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau, \quad (22)$$

$$w_{0-}(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x-\tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x-\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau. \quad (23)$$

Further using the representation (21)–(23) for the integral condition (11), we get:

$$\int_0^t w_0(x, t) dx = \int_0^t w_{0+}(x, t) dx + \int_0^t w_{0-}(x, t) dx = \hat{\lambda}(t) \tilde{E}(t). \quad (24)$$

By a commutativity property in the integrals of the formula (24), in the sense of the Dirichlet formula, we have:

$$\int_0^t w_{0\pm}(x, t) dx = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \varphi_0(\tau) d\tau \int_0^t \frac{x \pm \tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} dx. \quad (25)$$

Let's calculate the interior integrals from (25). We get

$$\begin{aligned} \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x \pm \tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} dx &= \left\| y = \frac{(x \pm \tau)^2}{4(t-\tau)} \right\| = \\ &= \frac{1}{2\sqrt{\pi(t-\tau)}} \int \frac{(t \pm \tau)^2}{4(t-\tau)} \exp\{-y\} dy = \\ &= \frac{1}{2\sqrt{\pi(t-\tau)}} \left(\exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} - \exp\left\{-\frac{(t \pm \tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \right). \end{aligned} \quad (26)$$

Then from (11), (24)–(26) we obtain

$$\int_0^t w_0(x, t) dx = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} [2 \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} - \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} (\exp\left\{-\frac{t\tau}{t-\tau}\right\} + 1)] \varphi_0(\tau) d\tau = \hat{\lambda}_0(t) \tilde{E}(t). \quad (27)$$

From ratios (8), (11), (27) and $w(x, t) = Cw_0(x, t)$ we find the required coefficient

$$\lambda(t) = \frac{d \ln(\hat{\lambda}(t))}{dt} = \frac{(\hat{\lambda}(t))'}{\hat{\lambda}(t)} = \lambda_0(t), \quad (28)$$

where we have used the equality

$$\left(\frac{\int_0^t w(x, t) dx}{\tilde{E}(t)} \right) : \frac{\int_0^t w(x, t) dx}{\tilde{E}(t)} = \left(\frac{\int_0^t w_0(x, t) dx}{\tilde{E}(t)} \right) : \frac{\int_0^t w_0(x, t) dx}{\tilde{E}(t)}.$$

Thus, the following Theorem 1 is proved.

Theorem 1. *The inverse problem (1)–(3) has the following solution $\{u(x, t), \lambda(t)\}$: the coefficient $\lambda(t) = \lambda_0(t)$ is determined uniquely by the formula (28) by restricting it down to a finite interval $(0, T)$ and the solution $u(x, t)$ is found by means of the restriction of the function:*

$$u(x, t) = Cu_0(x, t) = C[\hat{\lambda}_0(t)]^{-1} w_0(x, t), \quad (29)$$

on the bounded triangle G_T where $w_0(x, t)$ is defined by formulas (21)–(23).

Remark 2. Sections 7 and 8 are devoted to the mathematical justification and identification of the features of the solution of the boundary value problem (9)–(10). It will be shown that this solution has a singularity of order $t^{-1/2}$ at small values of t . Since the domain G_T is determined by the relations $0 < x < t, 0 < t < T$, the small value of the variable t provides a small value of the variable x .

According to formulas (21)–(23), (15) the solution $w_0(x, t)$ is a nonnegative function. It should be noted that the function $\tilde{E}(t)$ from (11) also is a nonnegative function, since the integral (24) is nonnegative and the coefficient $\hat{\lambda}_0(t)$ (8) is nonnegative function.

7. Estimate of the integral from (27)

In this section, we will establish boundedness of the integral from (27), considering that function $\varphi_0(t)$ (15) belongs to the class (16)–(17). The following theorem is true.

Theorem 2. *The integral in (27) is bounded function on semi-axis R_+ .*

The proof of Theorem 2 will follow from the statements of the following Lemmas 1–4.

Lemma 1. *Let $0 < t < T$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_\infty(0 < t < T)}$. Then the following estimate holds*

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq C\sqrt{\pi}. \quad (30)$$

Proof. We obtain

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} \sqrt{\tau} \exp\left\{\frac{\tau}{4}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq \\ & \leq C \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau \leq \\ & \leq C \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} d\tau = C\sqrt{\pi}. \end{aligned}$$

Lemma 1 is proved.

Lemma 2. *Let $T < t < \infty$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_\infty(T < t < \infty)}$. Then the following estimate is true*

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq 2C. \quad (31)$$

Proof. We have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq \\ & \leq C \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} d\tau = \left\| z = \sqrt{t-\tau} \right\| = \\ & = \frac{2C}{\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{t}{2}\right\} \int_0^{\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4} - \frac{t^2}{4z^2}\right\} dz \leq \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\leq \frac{2C}{\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{t}{2}\right\} \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{z^2}{4} - \frac{t^2}{4z^2}\right\} dz = \\ &= \frac{2C}{\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{t}{2}\right\} \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\frac{1}{4}}} \exp\left\{-2\sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{t^2}{4}}\right\} = 2C. \end{aligned}$$

Here we used a well-known equality ([9], formula 3.325):

$$\int_0^\infty \exp\left\{-\mu x^2 - \frac{\eta}{x^2}\right\} dx = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\mu}} \exp\{-2\sqrt{\mu\eta}\}, \quad (32)$$

Lemma 2 is proved.

Lemma 3. Let $0 < t < T$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_\infty(0 < t < T)}$. Then the following estimate take place

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} (\exp\left\{-\frac{t\tau}{t-\tau}\right\} + 1) \varphi_0(\tau) d\tau \leq C\sqrt{\pi}. \quad (33)$$

Proof. We have

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} (\exp\left\{-\frac{t\tau}{t-\tau}\right\} + 1) \varphi_0(\tau) d\tau \leq \\ &\leq \frac{C}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} d\tau = C\sqrt{\pi}. \end{aligned}$$

Lemma 3 is proved.

Lemma 4. Let $T < t < \infty$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_\infty(T < t < \infty)}$. Then the following estimate is correct

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} (\exp\left\{-\frac{t\tau}{t-\tau}\right\} + 1) \varphi_0(\tau) d\tau \leq 2C. \quad (34)$$

Proof. We have

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} (\exp\left\{-\frac{t\tau}{t-\tau}\right\} + 1) \varphi_0(\tau) d\tau \leq \\ &\leq \frac{C}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{t-\tau}{4}\right\} d\tau = \left\| z = \frac{\sqrt{t-\tau}}{2} \right\| = \end{aligned}$$

$$= \frac{4C}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{t}} \frac{1}{2} \exp\{-z^2\} dz = 2C \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t}}{2}\right) \leq 2C.$$

Lemma 4 is proved.

From estimates (30)–(34) established in Lemmas 1–4 we obtain the assertion of Theorem 2. Theorem 2 is proved.

8. Estimate of the solution (21)–(23)

In this section, we establish boundedness of the solution (21)–(23) of the boundary value problem (9)–(10), considering that function $\varphi_0(t)$ (15) belongs to the class (16)–(17). The following theorem is true.

Theorem 3. *The solution (21)–(23) of the problem (9)–(10) is limited, excluding the set $\{x, t : 0 < x < t, 0 < t < \varepsilon, \varepsilon > 0\}$ —small number—near the point $\{x = 0, t = 0\}$, where the solution has a singularity of order $t^{-1/2}$.*

The proof of Theorem 3 will follow from statements of the following Lemmas 5–6.

Lemma 5. *Let $0 < t < T$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_\infty(0 < t < T)}$. Then the following estimate holds*

$$w_{0\pm}(x, t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x \pm \tau}{(t - \tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t - \tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq C \frac{\sqrt{\pi}}{4}. \quad (35)$$

Proof.

$$\begin{aligned} w_{0\pm}(x, t) &= \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x \pm \tau}{(t - \tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t - \tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq \\ &\leq \frac{C}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{|x \pm \tau|}{\sqrt{\tau}(t - \tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t - \tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau = CI_{1\pm}(x, t). \end{aligned}$$

We transform the kernel in the last integral. Using the ratios:

$$\begin{aligned} \frac{|x \pm \tau|}{\sqrt{\tau}(t - \tau)^{3/2}} &\leq \frac{|x \pm t| + (t - \tau)}{\sqrt{\tau}(t - \tau)^{3/2}} = \frac{|x \pm t|}{\sqrt{\tau}(t - \tau)^{3/2}} + \frac{1}{\sqrt{\tau}(t - \tau)}, \\ -\frac{(x \pm \tau)^2}{4(t - \tau)} &= -\frac{[x \pm t \mp (t - \tau)]^2}{4(t - \tau)} = -\frac{(x \pm t)^2}{4(t - \tau)} + \frac{\pm 2x + t}{4} + \frac{\tau}{4}, \end{aligned}$$

we have

$$I_{1\pm}(x, t) \leq \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{\pm 2x + t}{4}\right\} \int_0^t \frac{|x \pm t|}{\sqrt{\tau}(t - \tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x \pm t)^2}{4(t - \tau)}\right\} d\tau +$$

$$+ \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{(x\pm\tau)^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau = \pm I_{1\pm}^1(x,t) + I_{1\pm}^2(x,t). \quad (36)$$

Firstly, we show boundedness of the first integral (36). For this we introduce the following substitutions $2z_{\pm} = |x \pm t| (t - \tau)^{-1/2}$, $z_{1\pm}^2 = z_{\pm}^2 - (x \pm t)^2 (4t)^{-1}$. Then we obtain

$$I_{1\pm}^1(x,t) = \frac{2 \exp\left\{-\frac{x^2}{4t}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \exp\{-z_{1\pm}^2\} dz_{1\pm} = \frac{\exp\left\{-\frac{x^2}{4t}\right\}}{\sqrt{t}}. \quad (37)$$

For the second integral $I_{1\pm}^2(x,t)$ in formula (36) we have:

$$\begin{aligned} I_{1\pm}^2(x,t) &= \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{(x\pm\tau)^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau \leq \\ &\leq \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} d\tau = \frac{\sqrt{\pi}}{4}. \end{aligned}$$

Lemma 5 is proved.

Lemma 6. Let $T < t < \infty$ and $C = \|\theta(t)\varphi_0(t)\|_{L_{\infty}(T < t < \infty)}$. Then the following estimate is correct

$$w_{0\pm}(x,t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x \pm \tau}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x\pm\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau \leq C. \quad (38)$$

Proof. As in proof of Lemma 5, using similar transformations of independent variables, we obtain

$$\begin{aligned} w_{0\pm}(x,t) &\leq \frac{C}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{|x \pm \tau|}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x\pm\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} d\tau \leq \\ &= \frac{C}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^t \frac{|x \pm t|}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x\pm t)^2}{4(t-\tau)} - \frac{t-\tau}{4}\right\} d\tau + \\ &+ \frac{C}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{(x\pm t)^2}{4(t-\tau)} - \frac{t-\tau}{4}\right\} d\tau = \\ &= C [I_{2\pm}^1(x,t) + I_{2\pm}^2(x,t)] \end{aligned} \quad (39)$$

Using the substitution $2z_{\pm} = |x \pm t|(t - \tau)^{-1/2}$, for the first integral we get:

$$\begin{aligned} I_{2\pm}^1(x, t) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_{\frac{|x \pm t|}{\sqrt{t}}}^{\infty} \exp\left\{-z^2 - \frac{(x \pm t)^2}{16z^2}\right\} dz \leq \\ &\leq \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^{\infty} \exp\left\{-z^2 - \frac{(x \pm t)^2}{16z^2}\right\} dz = \frac{1}{2}, \end{aligned} \quad (40)$$

here we used a well-known equality (32).

For the second integral $I_{2\pm}^2$ we have

$$\begin{aligned} I_{2\pm}^2(x, t) &= \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} \exp\left\{-\frac{(x \pm t)^2}{4(t - \tau)} - \frac{t - \tau}{4}\right\} d\tau = \\ &= \left\| z_{\pm} = \frac{2\sqrt{t - \tau}}{|x \pm t|} \right\| = \\ &= \frac{|x \pm t|}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^{\frac{2\sqrt{t}}{|x \pm t|}} |x \pm t| \exp\left\{-\frac{(x \pm t)^2}{16} z_{\pm}^2 - \frac{1}{z_{\pm}^2}\right\} dz_{\pm} \leq \\ &\leq \frac{|x \pm t|}{4\sqrt{\pi}} \exp\left\{\frac{x \pm t}{2}\right\} \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{(x \pm t)^2}{16} z_{\pm}^2 - \frac{1}{z_{\pm}^2}\right\} dz_{\pm} = \frac{1}{2}, \end{aligned} \quad (41)$$

where in (41) the known equality (32) was used.

Lemma 6 is proved.

From estimates (35) and (38) established in Lemmas 5–6 we obtain assertion of theorem 3. The peculiarity of the solution at the point $\{x=0, t=0\}$ follows from the estimate (37) from the proof of Lemma 5. Theorem 3 is proved.

9. Asymptotic of the integral in (27) for small values of the independent variable t

In Theorem 2 we have established boundedness of the integral in the left-hand side of formula (27) at $t \in R_+$. In this section, we want to answer the question: what is asymptotic behavior of this integral for small values of the independent variable t ? This asymptotic is important for determining the classes of functions for the required solutions $\{u(x, t), (x, t) \in G_T; \lambda(t), t \in (0, T)\}$ in the inverse problem (1)–(3).

The following theorem holds.

Theorem 4. For small values of the variable t , the solution of the inverse problem (1)–(3) $\{u(x,t), \lambda(t)\}$ has the order of singularity equal to t^{-1} .

To prove Theorem 4 we will first show the justice of the following lemma.

Lemma 7. The integral in formula (27) for small values of the variable t decreases with the order equal to $t^{1/2}$.

Proof. For this purpose, we will consider each summand in the integral in (27) separately. For the first term we have:

$$J_1(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau. \quad (42)$$

We divide the integral (42) into three integrals taking into account the formula (15):

$$J_{11}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau, \quad (43)$$

$$J_{12}(t) = \frac{1}{2} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} d\tau, \quad (44)$$

$$J_{13}(t) = \frac{1}{2} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\tau}}{2}\right) d\tau. \quad (45)$$

Let's calculate the integral (43).

$$J_{11}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{t\tau}{4(t-\tau)}\right\} d\tau,$$

where, after replacing the variable $z = \frac{t}{2\sqrt{t-\tau}}$, we have:

$$J_{11}(t) = \frac{\sqrt{t} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{1}{z \sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}} \exp\{-z^2\} dz =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4 \exp\left\{\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \left(\frac{z}{\sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}} - \frac{\sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}}{z} \right) \exp\{-z^2\} dz = \\
 &= \frac{4 \exp\left\{\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{z}{\sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}} \exp\{-z^2\} dz - \\
 &\quad - \frac{4 \exp\left\{\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{\sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}}{z} \exp\{-z^2\} dz = J_{11}^1(t) - J_{11}^2(t).
 \end{aligned}$$

$$J_{11}^1(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}} \exp\left\{-\left(z^2 - \frac{t}{4}\right)\right\} d\left(z^2 - \frac{t}{4}\right) = \frac{2}{\sqrt{t}}.$$

In integral $J_{11}^2(t)$ we introduce a substitution in the following way $z_1 = \sqrt{z^2 - \frac{t}{4}}$, then:

$$\begin{aligned}
 J_{11}^2(t) &= \frac{4}{\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \frac{z_1^2}{z_1^2 + \frac{t}{4}} \exp\{-z_1^2\} dz_1 = \frac{4}{\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \exp\{-z_1^2\} dz_1 - \\
 &\quad - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{z_1^2 + \frac{t}{4}} \exp\{-z_1^2\} dz_1 = \frac{2}{\sqrt{t}} - \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{t}} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{t}}{2}\right),
 \end{aligned}$$

where in the last integral we used a well-known equality from ([9], formula 3.466):

$$\int_0^{\infty} \frac{\exp\{-\mu^2 x^2\}}{x^2 + \beta^2} dx = \operatorname{erfc}(\beta\mu) \frac{\pi}{2\beta} \exp\{\beta^2 \mu^2\}. \quad (46)$$

Thus, for the integral (43) we have

$$J_{11}(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{t}} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{t}}{2}\right). \quad (47)$$

For the integrals (44) and (45), using a substitute $z = 2\sqrt{t-\tau}$, we get:

$$\begin{aligned} J_{12}(t) &= \frac{1}{2} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} d\tau = \\ &= \frac{\exp\left\{\frac{t}{2}\right\}}{2} \int_0^{2\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{16} - \frac{t^2}{z^2}\right\} dz, \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} J_{13}(t) &= \frac{1}{2} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{\tau^2}{4(t-\tau)}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\tau}}{2}\right) d\tau = \\ &= \frac{\exp\left\{\frac{t}{2}\right\}}{2} \int_0^{2\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{16} - \frac{t^2}{z^2}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t-\frac{z^2}{4}}}{2}\right) dz. \end{aligned} \quad (49)$$

The second term in the integral (27) has the form:

$$J_2(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{(t+\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau. \quad (50)$$

We divide the integral (50) into three integrals taking into account the formula (15):

$$J_{21}(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{(t+\tau)^2}{4(t-\tau)} - \frac{\tau}{4}\right\} d\tau, \quad (51)$$

$$J_{22}(t) = \frac{1}{4} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{(t+\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} d\tau, \quad (52)$$

$$J_{23}(t) = \frac{1}{4} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \exp\left\{-\frac{(t+\tau)^2}{4(t-\tau)}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\tau}}{2}\right) d\tau. \quad (53)$$

Using the replacement $z = \frac{t}{\sqrt{t-\tau}}$, we compute the integral (51). We get

$$\begin{aligned}
 J_{21}(t) &= \frac{\exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t-\tau)}} \exp\left\{-\frac{t^2}{t-\tau}\right\} d\tau = \\
 &= \frac{\sqrt{t} \exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{1}{z\sqrt{z^2-t}} \exp\{-z^2\} dz = \\
 &= \frac{\exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{z}{\sqrt{z^2-t}} \exp\{-z^2\} dz - \\
 &\quad - \frac{\exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \frac{\sqrt{z^2-t}}{z} \exp\{-z^2\} dz = J_{21}^1(t) - J_{21}^2(t), \\
 J_{21}^1(t) &= \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_{\sqrt{t}}^{\infty} \exp\{-(z^2-t)\} d(\sqrt{z^2-t}) = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{2\sqrt{t}}.
 \end{aligned}$$

For the second integral after replacing $z_1 = \sqrt{z^2-t}$ we obtain

$$\begin{aligned}
 J_{21}^2(t) &= \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \frac{z_1^2}{z_1^2+t} \exp\{-z_1^2\} dz_1 = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi t}} \int_0^{\infty} \exp\{-z_1^2\} dz_1 - \\
 &\quad - \frac{\sqrt{t} \exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{z_1^2+t} \exp\{-z_1^2\} dz_1 = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{2\sqrt{t}} - \frac{\sqrt{\pi} \exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{t}).
 \end{aligned}$$

Here we have used the equality (46).

Thus, finally for (51) we get

$$J_{21}(t) = \frac{\sqrt{\pi} \exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{t}), \quad (54)$$

By replacing $z = \sqrt{t - \tau}$ for the integrals (52) and (53) respectively, we have:

$$\begin{aligned} J_{22}(t) &= \frac{\exp\left\{\frac{3t}{4}\right\}}{4} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} \exp\left\{-\frac{t^2}{t - \tau} + \frac{\tau}{4}\right\} d\tau = \\ &= \frac{\exp\{t\}}{2} \int_0^{\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4} - \frac{t^2}{z^2}\right\} dz, \end{aligned} \quad (55)$$

$$J_{23}(t) = \frac{\exp\{t\}}{2} \int_0^{\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4} - \frac{t^2}{z^2}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t - z^2}}{2}\right) dz. \quad (56)$$

The third term in the integral in (27) has the form:

$$J_3(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} \exp\left\{-\frac{t - \tau}{4}\right\} \varphi_0(\tau) d\tau. \quad (57)$$

We divide the integral (57) into the following three integrals taking into account the formula (15):

$$J_{31}(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau(t - \tau)}} d\tau, \quad (58)$$

$$J_{32}(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{4} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} \exp\left\{\frac{\tau}{4}\right\} d\tau, \quad (59)$$

$$J_{33}(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}}{4} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} \exp\left\{\frac{\tau}{4}\right\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\tau}}{2}\right) d\tau. \quad (60)$$

After changing the variable $\tau = t \sin^2 \theta$ in (58) we get:

$$J_{31}(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}. \quad (61)$$

By replacing $z = \sqrt{t-\tau}$ for (59) and (60) we obtain:

$$J_{32}(t) = \int_0^{\sqrt{t}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4}\right\} d\left(\frac{z}{2}\right) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t}}{2}\right), \quad (62)$$

$$J_{33}(t) = \int_0^{\sqrt{t}} 2 \exp\{-z^2\} \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{t-4z^2}}{2}\right) dz. \quad (63)$$

Now we set asymptotic of the integral in (27) for small values of the variable $t > 0$. For the integrals $J_{11}(t)$ (43), $J_{21}(t)$ (51) and $J_{31}(t)$ (58) and their values (47), (54) and (61) respectively, we obtain the following asymptotic:

$$J_{11}(t) \approx \sqrt{\pi} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\} \left(1 - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}}\right),$$

$$J_{21}(t) \approx \frac{\sqrt{\pi}}{2} \exp\left\{\frac{3t}{4}\right\} \left(1 - \frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}}\right), \quad J_{31}(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \exp\left\{-\frac{t}{4}\right\}.$$

Hence we obtain

$$J_{11}(t) - J_{21}(t) - J_{31}(t) \approx \sinh\left\{\frac{t}{4}\right\} \left[\sqrt{\pi} - \sqrt{\pi} \exp\left\{\frac{t}{4}\right\} + 2\sqrt{t} \right] \approx t^{3/2}. \quad (64)$$

Further, for the integrals $J_{12}(t)$ (44), $J_{22}(t)$ (52) and $J_{32}(t)$ (59) and their values (48), (55) and (62) respectively we obtain the following asymptotic (recall that for small values of the variable t):

$$J_{12}(t) \approx \sqrt{t} \exp\left\{\frac{t}{2}\right\}, \quad J_{22}(t) \approx \frac{\sqrt{t} \exp\{t\}}{2}, \quad J_{32}(t) \approx \frac{\sqrt{t}}{2}.$$

From these formulas we have

$$J_{12}(t) - J_{22}(t) - J_{32}(t) \approx \sqrt{t} \left(\exp\left\{\frac{t}{2}\right\} - \exp\{t\} - \frac{1}{2} \right) \approx \sqrt{t}. \quad (65)$$

For the integrals $J_{13}(t)$ (45), $J_{23}(t)$ (53) and $J_{33}(t)$ (60) and their values (49), (56) and (63) respectively we get the following asymptotic:

$$J_{13}(t) \approx \sqrt{t} \exp\left\{\frac{t}{2}\right\}, \quad J_{23}(t) \approx \frac{\sqrt{t} \exp\{t\}}{2}, \quad J_{33}(t) \approx \frac{\sqrt{t}}{2}.$$

Taking these formulas into account, we obtain

$$J_{13}(t) - J_{23}(t) - J_{33}(t) \approx \sqrt{t} \left(\exp\left\{\frac{t}{2}\right\} - \frac{\exp\{t\}}{2} - \frac{1}{2} \right) \approx \sqrt{t}. \quad (66)$$

From the formulas (64), (65) and (66) it follows that for small values of the variable $t > 0$ the integral in (27) has a decreasing order, equal to \sqrt{t} .

Lemma 7 is proved.

To the proof of Theorem 4. According to a property of the given function $\tilde{E}(t)$ from the overspecification (7) and also from the statement of Lemma 7 and equality (27) we obtain that the function $\hat{\lambda}(t)$ should decrease at small values of the variable t with order equals to $t^{1/2}$. It follows that the order of singularity of the required coefficient $\lambda(t)$ at small values of the variable t equals t^{-1} . According to the ratio

$$u(x, t) = \frac{w(x, t)}{\hat{\lambda}(t)}$$

the solution of the boundary value problem (1)–(2) has the order of singularity equal $t^{-1/2}$. Indeed, it follows from the statement of the Theorem 3 that at small values of the variable t the solution $w(x, t)$ of the boundary value problem (9)-(10) has not a singularity.

Theorem 4 is completely proved.

10. Conclusion

In the paper we consider an inverse problem for the heat equation in a degenerating angular domain. We have shown that the inverse problem for the homogeneous heat equation with homogeneous boundary conditions has a nontrivial solution $\{u(x, t), \lambda(t)\}$ consistent with the integral condition. It was also proved that the found nontrivial solution has a singularity at the point $\{x = 0, t = 0\}$, which order equals to -1 .

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. Zhou J., Xu Y.: Direct and inverse problem for the parabolic equation with initial value and time-dependent boundaries. *Applicable analysis* 95(6), 1307--1326 (2016).
2. Zhou J., Li H.: Ritz-Galerkin method for solving an inverse problem of parabolic equation with moving boundaries and integral condition. *Applicable analysis*, 1--15 (2018).
3. Amangaliyeva M.M., Akhmanova D.M., Dzhenaliev M.T., Ramazanov M.I.: On boundary value problem of heat conduction with free boundary (in Russian). *Nonclassical equations of mathematical physics* 2012, 29--44 (2012).
4. Amangaliyeva M.M., Dzhenaliev M.T., Kosmakova M.T., Ramazanov M.I.: On a Volterra equation of the second kind with 'incompressible' kernel. *Advances in Difference Equations* 2015(71), 1--14 (2015).
5. Amangaliyeva M.M., Akhmanova D.M., Dzhenaliev M.T., Ramazanov M.I.: Boundary value problems for a spectrally loaded heat operator with load line approaching the time axis at zero or infinity (in Russian). *Differential Equations* 47, 231--243 (2011).
6. Amangaliyeva M.M., Dzhenaliev M.T., Kosmakova M.T., Ramazanov M.I.: On one homogeneous problem for the heat equation in an infinite angular domain (in Russian). *Siberian Mathematical Journal* 56(71), 982--995 (2015).
7. Lupo D., Rayne K.R., Popivanov N.I.: Nonexistence of nontrivial solutions for supercritical equations of mixed elliptic-hyperbolic type. In: Costa D., Lopes O., Manasevich R. and others *Workshop on Contributions to Nonlinear Analysis. Progress in Nonlinear Differential Equations and Their Applications* 66, pp. 371+ (2006).
8. Lupo D., Rayne K.R., Popivanov N.I.: On the degenerate hyperbolic Goursat problem for linear and nonlinear equations of Tricomi type. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications* 108, 29--56 (2014).
9. Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M.: *Tables of integrals, series, and products*. Academic Press, Amsterdam (2007).
10. V.A. Solonnikov, A. Fasano, One-dimensional parabolic problem arising in the study of some free boundary problems (in Russian). *Zapiski nauchnykh seminarov POMI* 269, 322--338 (2000).
11. T. Berroug, H. Ding, R. Labbas, B.-Kh. Sadallah, On a degenerate parabolic problem in Hölder spaces. *Applied Mathematics and Computation* 162, 811--833 (2005).
12. R. Labbas, A. Medeghri, B.-Kh. Sadallah, An L_p -approach for the study of degenerate parabolic equations. *Electronic Journal of Differential Equations* 2005, 36, 1--20 (2005).
13. A. Kheloufi, B.-Kh. Sadallah, On the regularity of the heat equation solution in non-cylindrical domains: Two approaches. *Applied Mathematics and Computation* 218, 1623--1633 (2011).

14. A. Kheloufi, Existence and uniqueness results for parabolic equations with Robin type boundary conditions in a non-regular domain of R^3 . Applied Mathematics and Computation 220, 756--769 (2013).

15. A. Kheloufi, B.-Kh. Sadallah, Resolution of a high-order parabolic equation in conical time-dependent domains of R^3 . Arab Journal of Mathematical Sciences 22, 165--181 (2016).

A GREEDY ALGORITHM FOR ALLOCATING INDIVISIBLE JOBS IN A MULTIPROCESSOR SYSTEM

Khutoretskii A.B.¹, Bredikhin S.V.²

¹*Novosibirsk State University, Russia*

²*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics
SB RAS, Russia*

e-mail: hab@dus.nsc.ru, bred@nsc.ru

Abstract. We study the problem of distribution a multiprocessor system computing capacity over a fixed time period between jobs. Processors differ by speed; jobs differ by processing time and cost. Assuming that jobs are indivisible (preemptions are prohibited), the problem of maximizing the total cost of allocated jobs is equivalent to the multiple knapsack problem. In the report, a greedy allocation algorithm is proposed. The relative performance guarantee of the algorithm is 0.5, and its running-time is $O(mn)$, where m is the number of jobs and n is the number of processors.

1. Introduction. Assume that a system consisting of n processors provides paid services. There are m jobs, each of them can be included in a schedule for the planning period of duration T . Let $I = \{1, 2, \dots, m\}$ be the set of jobs' numbers and $J = \{1, 2, \dots, n\}$ be the set of processors' numbers.

Each job can be assigned to any processor. Processor j has the speed s_j (cycles per unit time) and capability $Q_j = T \cdot s_j$ within the planning period. Job i requires q_i processor cycles and has the cost c_i . If the job i is included in the schedule and will be, therefore, executed during the planning period, then the system obtains the payment c_i .

Jobs are indivisible in two senses: (a) in the planning period, either no part of a job is performed or this job terminates; (b) during the planning period, a job can use no more than one processor (scheduling without preemption). It follows from the jobs' indivisibility that any schedule can be identified with some partition $I = I_0 \cup I_1 \cup \dots \cup I_n$, where $i \in I_j$ with $j \in J$ iff the job i is allocated to the processor j , and the jobs with numbers in I_0 are not included in the schedule.

A schedule is feasible if the total labor intensity of all jobs allocated to each processor is not greater than its capability. The more the total cost of all jobs included in the schedule, the more preferable it is for the system.

Let x_{ij} be the fraction of the job i allocated to the processor j , and $x = (x_{ij} \mid i \in I, j \in J)$. The problem of choosing the optimal schedule is formalized as follows:

$$\text{maximize} \quad C(x) = \sum_i c_i \sum_j x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_i q_i x_{ij} \leq Q_j, \quad j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij} \leq 1, \quad i \in I, \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (4)$$

Formally, this is the multiple knapsack problem (MKP), see, e. g. [4, section 10], [6, section 6]. Here processors correspond to knapsacks, size of the knapsack j equals to Q_j , jobs correspond to items, the item i 's size and value are equal, respectively, to the laboriousness and cost of the job i .

There exists one-to-one correspondence between feasible schedules and feasible solutions to the problem (1)-(4): if $j \in J$, then $i \in I_j$ iff $x_{ij} = 1$, and $i \in I_0$ iff $x_{ij} = 0$ for all $j \in J$.

2. Related results and our contribution

The problem (1)-(4) is NP-hard [4, p. 298], so the approximate algorithms for solving MKP are of interest. Let us formulate the necessary definitions (see [4, p. 33-40]).

Let \mathcal{P} be some parametric optimization problem. Assume that an algorithm A generates a feasible solution $A(P)$ for any instance P of \mathcal{P} . The relative performance guarantees or approximation ratio of the algorithm A for \mathcal{P} is the greatest ε such that $A(P) \geq \varepsilon \text{Opt}(P)$ for all instances P of \mathcal{P} (here $\text{Opt}(P)$ is the optimal value of the objective function in the problem P). An algorithm with relative performance guarantee ε will be called an ε -approximate algorithm.

A dependent on ε algorithm A is an approximation scheme for the problem \mathcal{P} if it is $(1 - \varepsilon)$ -approximate algorithm for any $\varepsilon \in (0, 1)$. An approximation scheme A is a polynomial time approximation scheme (PTAS) if its running time is polynomial in the parameters of the problem \mathcal{P} . An approximation scheme A is a fully polynomial time approximation scheme (FPTAS) if its running time is polynomial in the parameters of the problem \mathcal{P} and in $1/\varepsilon$.

In [1], it was proved that if $P \neq NP$ then there is no FPTAS for MKP even with $m = 2$. A PTAS for MKP was also constructed there, which allows to obtain a $(1 - \varepsilon)$ -

approximate solution with the running time of $O(n^{\ln(1/\varepsilon)/\varepsilon^8})$ (this estimate of the running time was given in [3]).

Looking through the pairs $(i, j) \in I \times J$ in some order and placing the item i in the knapsack j if the item has not yet been placed and there is enough space in the knapsack, it is possible to construct a feasible solution of MKP. Different orderings of pairs generate a family of greedy algorithms for MKP; we call them packing. The definition of packing can be easily modified for problems with divisible items (for example, the linear relaxation of MKP). Namely, if $(i; j)$ is the next in turn pair, the size of the item i 's unplaced part equals q'_i , and the size of free space in the knapsack j equals Q'_j , then let us pack into this knapsack the item i 's portion of size $\min\{q'_i, Q'_j\}$.

MKP with $m = 1$ is the knapsack problem (KP). Assuming that the size of every item is not larger than the knapsack's size, an optimal solution z_{KP} for the linear relaxation of KP can be obtained by packing with the numbering of items according to non-increase of the efficiency (the ratio of value to size) [2]. Let $z_{KP} = (z_{ij} \mid i \in I, j \in J)$. One can construct two feasible solutions to KP, $x_{KP} = (x_{ij} \mid i \in I, j \in J)$ and $y_{KP} = (y_{ij} \mid i \in I, j \in J)$, as follows: $x_{ij} = 1$ if $z_{ij} = 1$, otherwise $x_{ij} = 0$; $y_{ij} = 1$ if $0 < z_{ij} < 1$, otherwise $z_{ij} = 0$. Algorithm KP_1 that chooses the best of these solutions is 0.5-approximate one for KP [6].

For MKP, the analogous approach was described in [4, p. 299]. Here the linear relaxation of MKP is considered with an additional condition: it is forbidden to place a nonzero part of an item i in a knapsack j if $Q_j < q_i$ (we call this problem LMKP). If the items are numbered by non-increasing the efficiency and the knapsacks are numbered by non-decreasing the size, then the packing that uses only the pairs $(i; j)$ such that $q_i \leq Q_j$ (in a lexicographical order) creates an optimal solution to LMKP (a more general result is proved in [5, Theorem 1]). Let $z_{MKP} = (z_{ij} \mid i \in I, j \in J)$ be the optimal solution of LMKP constructed by the method described above. This vector creates two feasible solutions of MKP, $x = (x_{ij} \mid i \in I, j \in J)$ and $y = (y_{ij} \mid i \in I, j \in J)$, as follows: $x_{ij} = 1$ if $z_{ij} = 1$, otherwise $x_{ij} = 0$; $y_{ij} = 1$ if $0 < z_{ij} < 1$ and $z_{ik} = 0$ for all $k < j$, otherwise $y_{ij} = 0$. Algorithm MKP_1 that chooses the best of these solutions is 0.5-approximate one for MKP [4, Theorem 10.4.2]. Running time of this algorithm (without sorting) is $O(mn)$.

In [7], the authors suggest to improve the algorithm KP_1 as follows: to establish the items' numbering according to non-increasing the value and use the result of the corresponding packing instead of y_{KP} . In other words, the improved algorithm KP_2 performs the packing with the item' numbering by non-increasing the efficiency and one more packing – with numbering of items by non-increasing the value, then chooses the best from the received solutions. Estimates of the running time and approximation ratio for KP_2 coincide with the corresponding characteristics of the algorithm KP_1 .

We will apply the idea of the algorithm KP_2 to construct a new 0.5-approximate algorithm for MKP, having the running time of $O(mn)$. This may be useful because, for a particular instance of MKP, different algorithms give, as a rule, different solutions from which one can choose the best.

3. The proposed algorithm. Before description of the proposed algorithm (MKP₂ below), let us first formulate a greedy algorithm (packing) G for distributing the indivisible jobs between processors using given numberings of the jobs and processors.

Algorithm G

Input: the sets $I, J, \{q_i \mid i \in I\}, \{Q_j \mid j \in J\}$.

Step 1. Put $I_0 = I$ and $I_j = \emptyset$ for all $j \in J$.

For each j from 1 to n execute the step 2.

Step 2. Put $R_j = Q_j - \sum_{i \in I_j} q_i$.

For each i from 1 to m

(if $i \in I_0$ and $q_i \leq R_j$ then relocate i from I_0 into I_j).

Output: the partition $\rho = (I_0, I_1, \dots, I_n)$ of the set I .

The proposed 0.5-effective algorithm MKP₂ consists in double execution of the packing. In the both cases the processors are numbered according to non-decreasing the size. The jobs are numbered according to non-increasing the efficiency in the first case and according to non-increasing the cost in the second case.

Algorithm MKP₂

Input: the sets $I, J, \{q_i \mid i \in I\}, \{c_i \mid i \in I\}$, and $\{Q_j \mid j \in J\}$, where $j < k$ implies $Q_j \leq Q_k$.

Step 1. Establish a numbering of the set I such that $d_i \geq d_k$ for $i < k$.

Performing the algorithm G , find a partition $\rho_1 = (I_{1,0}, I_{1,1}, \dots, I_{1,n})$ of the set I .

Put $V_1 = \sum_{i \notin I_{1,0}} c_i$.

Step 2. Establish a numbering of the set I such that $c_i \geq c_k$ for $i < k$.

Performing the algorithm G , find a partition $\rho_2 = (I_{2,0}, I_{2,1}, \dots, I_{2,n})$ of the set I .

Put $V_2 = \sum_{i \notin I_{2,0}} c_i$.

Step 3. Put $\rho = \rho_1$ if $V_1 \geq V_2$ and $\rho = \rho_2$ otherwise.

Output: the partition ρ of the set I .

Obviously, the algorithm MKP₂ has the running time of $O(mn)$ (without sorting). Using the resulting partition $\rho = (I_0, I_1, \dots, I_n)$, it is possible to construct a feasible solution $x = (x_{ij} \mid i \in I, j \in J)$ of the MKP as follows: $x_{ij} = 1$ if $i \in I_j$, else $x_{ij} = 0$. Therefore, MKP₂ is an approximate algorithm for the MKP. In [5], it is proved (Theorem 3) that 0.5 is a lower bound for the approximation ratio of this algorithm. In other words, for arbitrary input parameters, the algorithm includes in the schedule the jobs of total cost not less than half of the cost of jobs in the optimal schedule.

The next example shows that this estimate is tight even with $n = 1$.

Example. Let us define an instance of MKP as follows: $m = 3, n = 1, Q_1 = 2a, q_2 = q_3 = c_2 = c_3 = a, \varepsilon \in (0, a/2), q_1 = a + 2\varepsilon, c_1 = a + \varepsilon$. Then $d_2 = d_3 = 1, d_1 > 1$. The optimal schedule corresponds to the partition $\rho^* = (I_0^*, I_1^*)$, where $I_0^* = \{1\}, I_1^* = \{2, 3\}$, the total cost of the scheduled jobs is $V^* = 2a$. The steps 1 and 2 of the algorithm MKP₂ create the same partition $\rho = (I_0, I_1)$, where $I_0 = \{2, 3\}, I_1 = \{1\}$ with the total cost of the scheduled jobs equal to $V(\varepsilon) = a + 2\varepsilon$. So, $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (V(\varepsilon)/V^*) = 0.5$.

References

1. Chekuri, C. A polynomial time approximation scheme for the multiple knapsack problem / C. Chekuri, S. Khanna // *SIAM Journal on Computing*. – 2003. – Vol. 5. – Is. 3. – P. 713-728.
2. Dantzig, G. D. Discrete variable extremum problems / G. D. Dantzig // *Operations Research*. – 1957. – Vol. 5. – P. 266-277.
3. Jansen, K. Parameterized approximation scheme for the multiple knapsack problem / K. Jansen // *SIAM Journal on Computing*. – 2009. Vol. 39. – Is. 4. – P. 1392-1412.
4. Kellerer, H. Knapsack problems / H. Kellerer, U. Pferschy, D. Pisinger. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2004. – 546 p.
5. Khutoretskii, A. B. A lexicographic 0:5-approximation algorithm for the multiple knapsack problem / A. B. Khutoretskii, S.V. Bredikhin, A.A. Zamyatin // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. – 2018. – Vol. 12. – Is. 2. – P. 264-277.
6. Martello, S. Knapsack problems: algorithms and computer implementations / S. Martello, P Toth. – Chichester – New York: John Wiley & Sons, 1990. – 296 p.
7. Mu'alem, A. Truthful approximation mechanisms for restricted combinatorial auctions / A. Mu'alem, N. Nisan // *Games and Economic Behavior*. – 2008. – Vol. 64. – P. 612-631.

FINITE AUTOMATA IN ADVANCED PROBLEMS

Mirzakhmet Syzdykov

*Institute of Informational and Computing Technologies,
SC MES of Republic Kazakhstan
e-mail: mirzakhmets@gmail.com*

Abstract. *The modern aspects of finite automata include different measures of application varying to the pattern matching in regular expressions. In this perspective the structure of automata problems arises like the conversion of non-deterministic finite automata (NFA) into the deterministic (DFA) within the full stack of states which is, in common, a magnitude exponential. The main results are presented within the automata overriding during the subset construction which is a transformation from NFA to DFA. The other concept is implementation of additional and augmented entities in NFA, during conversion or simulation, like extended operators: complement, subtraction and intersection*

INTRODUCTION

First of all, let's study the structure of regular expression to be clear further. For this purpose, we will describe in BNF form the regular expressions with some assumptions:

1) The regular expression describes language (finite or infinite set of words) specified by the following grammar;

2) Let's define R and R_i as a regular expression, and A as a set of alphabetic symbols from a to z ($A = \{a, \dots, z\}$).

Let's define $L(R)$ as a language of a regular expression R .

The regular expression then can be defined recursively as (in order of precedence from highest to lowest):

- $R = \varepsilon$ (an empty word, $L(R) = \{\varepsilon\}$);
- $R = A$ (a single symbol from alphabet A , $L(R) = \{a: a \in A\}$);
- $R = R^+$ (an infinite language $L(R)$, $L(R) = L(R) \cup L(RR) \cup \dots \cup L(RRR \dots)$);
- $R = R^* = \varepsilon | R^+$ (an infinite language $L(R)$ or Kleene closure, $L(R) = \{\varepsilon\} \cup L(R^+)$);
- $R = R?$ (a set of words $L(R)$, $L(R) = \{\varepsilon\} \cup L(R)$);
- $R = R_1 R_2$ (a set of words $L(R)$, $L(R) = \{ab: \forall a \in L(R_1), \forall b \in L(R_2)\}$);
- $R = R_1 | R_2$ (a set of words $L(R)$, $L(R) = L(R_1) \cup L(R_2)$).

The extended regular expression is a regular expression supporting one more operation on languages (AND-operator). The AND-operator can be described in regular expression grammar with an additional definition:

$$R = R_1 \& R_2 \text{ (a set of words } L(R), L(R) = L(R_1) \cap L(R_2) \text{)} .$$

This operation is an intersection of languages produced by sub-expressions (conjunction operator). It has the lowest precedence in regular expression.

Extended regular expressions also include subtraction and complement or negation operator which are equal in technical sense, because negation is a subtraction of a closed language and an operand:

$$\sim R = A^* - R.$$

The subtraction operator can be defined as follows:

$$R = R[1] - R[2].$$

The language of the subtraction can be also described:

$$L(R) = \{w: w \in L(R[1]) \& w \notin L(R[2])\}.$$

The finite automata are defined as follows:

The automata theory consists of the definition like **tuple**, formally defined as:
<.....>.

Non-deterministic finite automata, or NFA for short, can be defined by a tuple as it was described before for automata in common. Particularly, NFA is a tuple like the following:

$$\langle Alphabet A, S, S(initial), S(final), Transitions \rangle.$$

Where alphabet A is a set of characters by which the transitions can be marked; the set of states S and its sub-sets $S(initial)$ and $S(final)$ – the last is also called as a set of accepting states, where string matching terminates with positive results. When word is matched against automaton recognizing (or representing) some language L the other sub-tasks can be also performed like, for instance, when the sub-matches (or grouped items in regular expression) are to be extracted.

The set of transitions is a production of three dimensions:

$$Transitions = S \times Marks M \times S,$$

where M is a set of labels on the edges connecting starting and finishing state in automaton graph. Usually set M includes alphabet A . For NFA which describe language the set M is extended and includes the empty transition ε which doesn't match the character from the input stream and thus are not skipping the current character while the edge marked by a letter or even string perform position change if the stream prefix and edge label are matching (or simply, are equal).

Deterministic finite automata DFA can be characterized as a subset of NFA and described by a tuple as follows:

$$\langle Alphabet A, S, s(initial), S(final), Transitions \rangle,$$

where A is an alphabet, S is a set of states, $s(initial)$ is an initial single state, $S(final)$ is a set of final or accepting states. The transitions in DFA cannot include empty word or character (previously denoted by ε -symbol). The following rule holds true for these transitions: there could be no more than one outgoing transition by the same label (character) for any state in automaton. Thus the transition set can be defined by a deterministic function:

$$f(s(starting), a) = s(ending),$$

where $s(starting)$ is a current state, a is a symbol mark on the edge (from alphabet A) and $s(ending)$ is a destination state. The transition rule, thus, can be represented even by a quadratic matrix with rows from set of states and columns from the set of symbols, on the values of this matrix the destination states are defined.

ALGORITHMS FOR NFA CONSTRUCTION

Pre-historically the first implementations of finite-automata within the additional features like extended operators were presented by Berry-Sethi [1] based on the derivative construction from the algebraic regular expression. This is, in common, basically an

algorithm consisting of operations over the set of regular expressions within the differential-derivative operator.

The derivative is computed with respect to the function $g(R)$, which equals 1 if the language described by the regular expression R contains empty string. This function can be defined as follows:

Table 1. Definition of the function $g(R)$

Regular Expression	$g(R)$
ε	1
$a \text{ in } A$	0
$R[1] \mid R[2]$	$g(R[1]) \mid g(R[2])$
$R[1] \cdot R[2]$	$g(R[1]) * g(R[2])$
R^*	1

The derivative rules can be computed as follows (with respect to the character a):

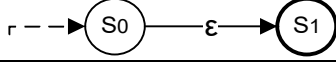
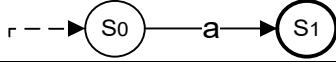
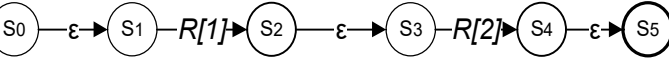
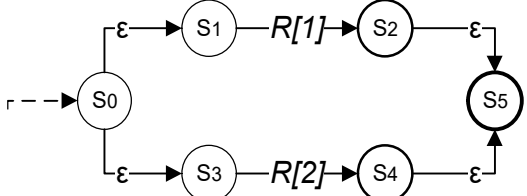
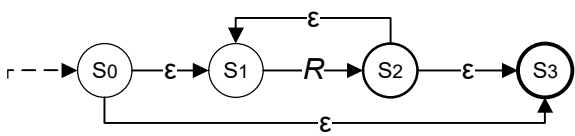
Table 2. Definition of derivative

Derivative
$a^{-1} = 0$
$a^{-1}0 = 0$
$a^{-1}a = 1$
$a^{-1}b = 0, \text{ if } a \neq b$
$a^{-1} (R[1] \mid R[2]) = a^{-1}R[1] \mid a^{-1}R[2]$
$a^{-1} (R[1] \cdot R[2]) = a^{-1}R[1] \cdot R[2] \mid g(R[1]) \cdot a^{-1}R[2]$
$a^{-1} (R^*) = a^{-1}R \cdot R^*$

The above listed derivative rules also include extended operations like intersection and subtraction.

The other known algorithm for NFA-construction is authored by Kenneth Thompson. In [2] there is a description of algorithm to construct automaton for the regular expression in order to match the word. For each of the element of regular expression starting and final states are recursively created. The algorithm can be illustrated by the diagrams in Table 3. The result of this algorithm is NFA for the input regular expression (an argument).

Table 3. Thompson diagrams

Operator name	Regular expression	Thompson construction
Empty language	$R = \{\}$	
Atomic language	$R = a \text{ in } A$	
Concatenation	$R = R[1] \cdot R[2]$	
Alteration	$R = R[1] R[2]$	
star closure	$R = R^*$	

* $f(N)$ is an arbitrary function

The different follow automata construction differs from Thompson's: the empty-transitions are removed and for each state the set of all the states reached by the empty transitions is computed. Further the set of all states reachable by non-empty edges (labeled, for example, by character marks) is attached to the current state. Thus, the automaton is compressed.

Let's calculate the memory and P-magnitude of the methods assuming that N is a length of pattern and M is a length of string to be matched:

Table 4. Summary for the NFA-construction algorithms

Method	Memory	P-magnitude
Thompson	$O(N)$	$O(N \cdot M)$
Follow automaton	$O(N^2)$	$O(N^{f(N)} \cdot M)$
Berry-Sethi	$O(f(N))$	$O(f(N))$

DETERMINISTIC FINITE AUTOMATA

In [3] there is a description of converting NFA to DFA. This conversion is called subset construction. The naming of algorithm is based on fact that algorithm utilizes Kleene closure result for a set of reachable states in corresponding NFA. These sets are thus divided by the DFA-states, which in turn are subsets of NFA states, by the non-empty transitions in NFA. These facts together form a subset *paradigm*.

To produce DFA for intersection-operator, the subset construction will be parametrized with a modified NFA. This NFA is **extended** as it has counters for each of the state. The counter is a positive integer number representing minimal number of input transitions to the state required to make it active. When the state is active it can be used to compute the next states reachable by empty transitions in function ε – closure.

Let us consider the NFA construction for the expression:

$$R = R_1 \& R_2.$$

Each state in the final NFA has default counter of value one, this means that the only transition is required to make it active. The construction of the NFA for this expression is same as for alternation operator:

$$R = R_1 | R_2.$$

The difference is that the final state of this construction has a counter of value two. Additional new final state is added. This additional state is required to create an output state to follow the subset construction from NFA with counters of value two.

This can be better illustrated by the following diagram:

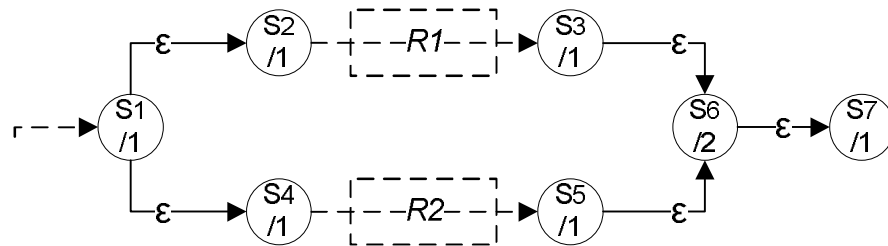


Figure 1. NFA construction for the expression “R1&R2”
(counter values after “/”-sign)

Let us write the definition of the typical NFA as a tuple –

$$\langle S, s(initial), F, E, A \rangle,$$

where: S is a set of states,

$s(initial)$ is an initial state ($s(initial)$ is an element of S),

F is a set of final (accepting) states,

E is a set of edges in NFA:

($e \in E: e \in S \times S \times (A \cup \{\varepsilon\})$), and

A is a set of alphabet.

The edge thus is a triple ($s(a), s(b), c$) where c is a symbol mark on the edge accepting the alphabet element and $s(a)$ and $s(b)$ are initial and final states of the corresponding edge.

The definition of the extended NFA is same except that there is additional set C (a set of counter values for each of the state in the non-extended NFA):

$$C = \{c \in C: c \in S \times \{1, 2\}; \forall s \in S\}.$$

Please note, this NFA construction could be applied to two automata by replacing the $R[1]$ and $R[2]$ on Figure 1 with the corresponding graphs.

This algorithm to produce DFA for extended NFA is the same as for a typical NFA with respect to the counter value of the reached state:

- 1) At each step of computing the closure the counters are reinitialized to their default values;
- 2) Each time the state is reached its counter value is decreased by one;
- 3) The state can be considered active if its counter value equals zero.

ADVANCED PROBLEMS IN PATTERN MATCHING

For the present time the modern linear algorithm is developed for pattern matching with the extended regular expression based upon the studied methodology [4]. Clearly NFA is more effective rather than using the subset construction of magnitude 2^n when converting NFA into deterministic finite automaton DFA. This is so-called P-NP complexity problem which can be solved by implementing extended NFA within the constraints, thus:

$$P = NP \times Constraints.$$

It's clear that the use of activators, traversal flags as states within the depth-first search DFS is more effective than the previously developed methods of pattern matching [5]. In [6] the definition of different types of extended NFA overriding is presented.

The algorithm in overall can be represented as a cross-product of NFA and **control vector** which forms a **hierarchy**. The hierarchy can be defined as a set of semantic rules due to which the complexity expands. This hierarchy is bounded by &-operator counters. The hierarchies (a, b) and (a, b, c) are equivalent over step of subset construction if in parameterized NFA the states a and b are met earlier than state c . These states are assigned the counter of value two, as they are states for the AND-operator construction.

Let's not that, however, the modified subset construction can be realized – still the magnitude of 2^n cannot be avoided [7].

The other problem to be solved is the definition of back-reference within the exponential or NP space according to the algorithmic or common definition like pattern matching. The back-references are still defined of NP-magnitude without the specific case proof.

CONCLUSION

Basically the NP problem can be approximated to the P-class within the modified subset construction. The problems of NP-complexity like back-referencing still remain open.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author expresses gratitude to the ResearchGate and the Clay Institute of Mathematics for the list of Millennium Problems along with the P-NP theorem. I'm also grateful for the on-going discussion to the following persons: Colin James III and Vinoo Cameron.

References

1. Berry G., Sethi R. From regular expressions to deterministic automata / Gerard Berry, Ravi Sethi – Theoretical Computer Science, 1986. – Vol. 48 – pp. 117-126.
2. Thompson K. Programming techniques: Regular expression search algorithm / Kenneth Thompson – Communications of the ACM, 1968. – Vol. 11, N. 6. – pp. 419-422.
3. Rabin M. O., Scott D. Finite automata and their decision problems / M. O. Rabin, D. Scott – IBM journal of research and development, 1959. – Vol. 3, N. 2. – pp. 114-125.
4. Syzdykov M. Methodology to Produce Deterministic Automaton for Extended Operators in Regular Expression / Mirzakhmet Syzdykov – International Journal of Scientific & Engineering Research, 2017, Vol. 8 – pp. 1497-1500.
5. Syzdykov M. Theory of Automata and State Complexity / Mirzakhmet Syzdykov. – LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – p. 88.
6. Syzdykov M. Deterministic automata for extended regular expressions / Mirzakhmet Syzdykov – Open Computer Science, 2017. – Vol. 7, N. 1. – pp. 24-28.
7. Gelade W., Neven F. Succinctness of the complement and intersection of regular expressions / Wouter Gelade, Frank Neven – ACM Transactions on Computational Logic (TOCL), 2012. – Vol. 13, N. 1. – pp. 325-336.

UDC 681.7

INFLUENCE OF TEMPERATURE AT FIBER BRAGG GRATINGS' SPECTRAL CHARACTERISTICS

**Wójcik W.^{1,2}, Kashaganova G.B.^{2,3}, Kalizhanova A.U.^{2,4},
Amirgaliyeva S.N.², Kisala P.^{1,2}, Kartbayev T.S.⁴, Doszhanova A.A.⁴,
Arslanova S.Z.¹, Iskakova M.T.²**

¹*Lublin University of Technology, Poland*

²*Institute of Information and Computational Technologies
of the CS MES RK, Kazakhstan,*

³*Kazakh-American University, Kazakhstan*

⁴*Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Kazakhstan*

waldemar.wojcik.@pollub.pl, guljan_k70@mail.ru, kalizhanova_aliya@mail.ru,
saltanat_amirgal@mail.ru, p.kisala@pollub.pl, kartbaev_t@mail.ru,
d_alia.81@mail.ru

Abstract. Nowadays to control and measure the different magnitudes the most perspective are considered the fiber-optical sensors based on the Bragg fiber gratings. Such sensors are applied for measuring the deformations, shifts, strain, liquid level, temperature, speed up, vibration.

In the article herein there considered the fiber-optical sensors based on the temperature measuring. Temperature influence at fiber Bragg gratings spectral characteristics has been experimentally checked. The principal spectral characteristics of the fiber Bragg grating are: reflection and transmission spectra. By means of bound modes theory the reflection and transmission spectra have been mathematically described. Based on the obtained experiment results there might be drawn a conclusion: fiber Bragg grating, used as a temperature sensor, provides the linear characteristic of the magnitude being measured for the central grating wavelength shift.

In the work herein we study the influence of the temperature at the fiber Bragg gratings' spectral characteristics. Based on experimental measurements there have been constructed the spectral characteristics and obtained the Bragg wavelength values for each temperature magnitude.

Key words: fiber Bragg grating, spectral characteristics, temperature, analyzer, fiber-optic sensor.

Introduction

Nowadays the fiber Bragg grating (FBG) is considered as one of the most challenging sensing element of fiber optic sensors of physical, chemical and other values. Its primary advantages are: high sensitivity, protection from electromagnetic field impact, reliability, recovery rate and a wide dynamic measurement range, high corrosion and radiation resistance, small size and weight.

FBG consists in cyclic variation of the refraction index in the core of a single-mode optical fiber. In this case the zones with a high refraction index are parallel to the fiber cross-section plane. Such structure has an ability to reflect light with clearly defined wavelength and simultaneous transparence for the light with different wavelengths. The light wavelength shall meet the Bragg condition:

$$\lambda = 2 n_{eff} \Lambda, \quad (1)$$

here: λ – reflected light wavelength;

n_{eff} – efficient refraction index of the optical fiber core;

Λ - Bragg grating period.

Figure 1 shows schematic structure of the refraction index changes in the fiber core on the Bragg grating area.

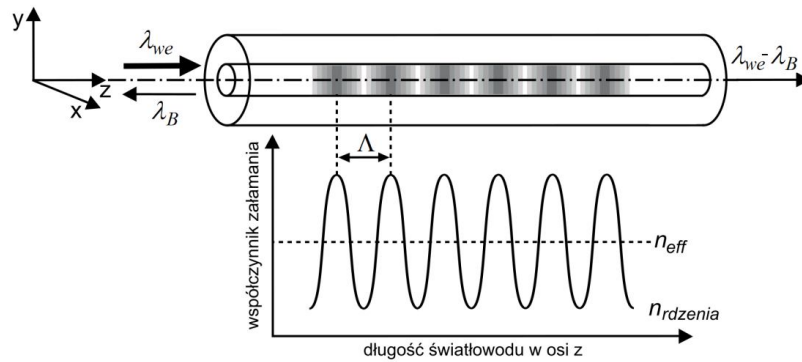


Figure 1 – Diagram of optical fiber with Bragg grating and diagram of core refractive index changes

The light, reflected from subsequent bands will be subject to practical perturbation, creating the beam propagating in the direction opposite to the incident wave. The most important parameters of FBG are the spectral characteristics: transmission and reflection spectra.

Mathematical modeling of FBG spectral characteristics

Computation of Bragg gratings characteristics is usually fulfilled applying the bound modes theory. By means of the bound modes theory the reflection and transmission spectra might be described as follows:

$$r(\lambda) = \frac{k^2 \sinh^2(\gamma_B L)}{\sigma^2 \sinh^2(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh^2(\gamma_B L)} \quad (2)$$

$$t(\lambda) = \frac{\gamma_B^2}{\sigma^2 \sinh^2(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh^2(\gamma_B L)} \quad (3)$$

where

$$\gamma_B = \begin{cases} \sqrt{k^2 - \sigma^2} & k^2 > \sigma^2, \\ \sqrt{\sigma^2 - k^2} & k^2 < \sigma^2. \end{cases}$$

Spectral offset from strict resonance σ is defined by difference of the main mode $= 2\pi n_{eff} / \lambda$ diffusion constants:

$$\sigma = \delta + \bar{\sigma} - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz},$$

$$\delta = \beta - \frac{\pi}{\lambda} = \beta - \beta_D = 2\pi n_{eff} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_D} \right),$$

Reflection spectrum represents the optical power peak around the wavelength λ_{BG} , which characterizes the light, reflected from the grating. Apart from the optical fiber and coupling element losses the sum of the reflection and transmission spectra reflects the light source spectrum.

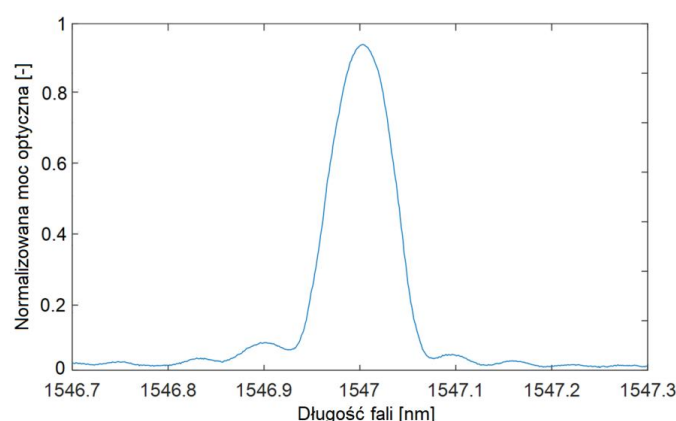


Figure2 – FBG reflection spectrum

Figure 2 shows FBG reflection spectrum with 1547 Nm central wavelength.

Central wavelength optical radiation, reflected from Bragg grating depends on the efficient refraction index and on the grating period.

The light, being transmitted through the optical fiber core is spread by each grating plane.

Grating plane is the object of temperature and mechanical perturbation. As the glass is subject to temperature and mechanical impact, then the gratings, recorded on it are as well subject to. Upon changing the environment their changes phase synchronism condition, which brings to rearranging the reflection wavelength. Thus, tracing the length of the wave, on which Bragg reflection occurs, we might obtain the external perturbation magnitude. This functionality meets the aims of fiber-optic sensors: i.e., to have structure on the fiber core, which provides profound reading mechanism

Experimental research of temperature influence at FBG spectral characteristics

Resonant wavelength λ_{BB} depends on the glass fiber temperature and on the attached to them mechanical tensile or compressive strain. This circumstance underlines using FBG as sensors sensitive elements of physical, chemical and other values. FBG resonance, which is defined with the wave central length of backward reflected radiation from Bragg grating, depends on the effective reflection index of the core and the grating period. Effective reflection index, like the regular distance between the gratings planes, will be susceptible to the influence of mechanical and temperature changes. This influence, in its turn, is the base for using the fiber Bragg gratings for measuring the strain and temperature.

Using the condition of the Bragg first order we obtain the wave resonance wave length shift due to mechanical and temperature changes:

$$\Delta\lambda_{BG} = 2\left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial l}\right)\Delta l + 2\left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial T}\right)\Delta T, \quad (1)$$

The first member in the formula (1) describes the tensile deformation impact at optical fiber. It is responsible for the space change between Bragg gratings planes and for mechanical-optical change of the refraction index. This additive component may be expressed as follows:

$$\Delta\lambda_{BG} = \lambda_{BG} \left\{ 1 - \left[\frac{n_{eff}^2}{2} (p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})) \right] \right\} \varepsilon_z, \quad (2)$$

The second member in the expression (1) describes the temperature influence at optical fiber. The Bragg wavelength shifts due to the Bragg condition change under the influence of two factors: first, thermal expansion changes the distance between the grating planes, second, under the temperature influence there changes an effective refraction index and, subsequently, there is changed the optical light wave. Main contribution into the Bragg wavelength shift makes the second factor. This fragmentary contribution into the wave resonance length shift might be expressed as follows:

$$\Delta\lambda_{BG} = \lambda_{BG} (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \Delta T, \quad (3)$$

Whence it is easy to obtain our grating's temperature sensitivity:

$$\frac{\Delta\lambda_{BG}}{\Delta T} = \lambda_{BG} (\alpha_\Lambda + \alpha_n), \quad (4)$$

where α_Λ – thermal expansion factor, α_n – thermal optic coefficient.

Standard values of these parameters for optic fiber [3]: $\alpha_\Lambda = 0,55 \cdot 10^{-6}$ for quartz glass, $\alpha_n = 8,6 \cdot 10^{-6}$ for optic fiber with doped germanium.

Let's consider the temperature influence at the fiber Bragg grating spectral characteristic. Temperature influence at the optic fiber is described with the formula (3).

To fulfill the set task, we assembled the installation, which shows the temperature influence in different ranges at the fiber Bragg grating spectral characteristics. Figure 1 shows the diagram of the test stand.

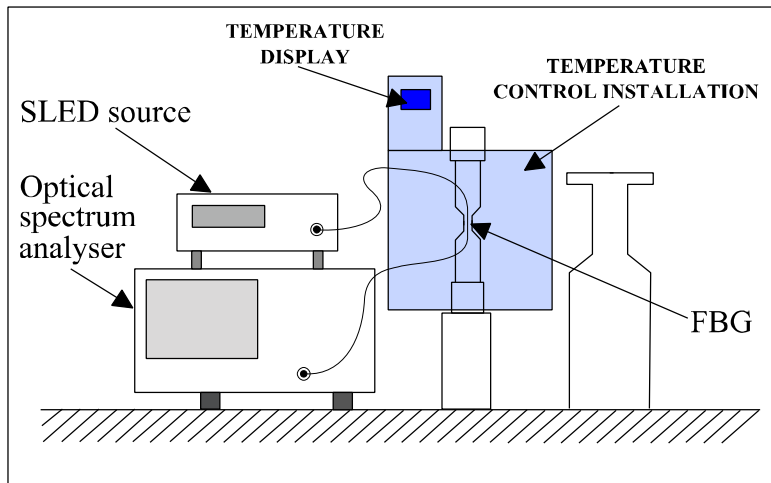


Fig.1. Diagram of test stand

Photo 2 shows the test stand.



Fig.2. Structural photo of test stand

The stand consists of the following components:

- optical analyzer for the spectrum;
- source SLED;
- temperature rating;
- temperature control device;
- fiber Bragg grating.

Measurements have been conducted in two stages: at uniform heating of the whole grating and of a certain grating point.

Temperature meter error does not exceed $\pm 0,5$ °C at temperatures in the range from 18°C to 135°C, as well, the stand herein can carry out the tests at low temperatures. It can

be implemented by means of liquid nitrogen gas and heating element influence. The grating is heated by resistible hot plate. Heating Surface Square constitutes 47cm×19cm. Temperature control is fulfilled by an auto-type transformer. Environment:

- working temperature: from +5 to +40 ° C;
- storage temperature: from -5 to +40 °C;
- maximum humidity is 70% of relative humidity.

Upon researching there also has been used the analyzer of AQ-6315B spectrum of the company ANDO, which is considered to be a key element at measuring grating spectral characteristics under different temperatures. Below there are selected technical characteristics:

- range of measured wavelengths: 350 – 1750Nm;
- wavelength measuring accuracy: $\pm 0,05 \text{ Nm}$ ($25 \pm 5^\circ\text{C}$, 10/125 SM), $\pm 0.05 \text{ Nm}$ (1510 – 1570 Nm, 10/125SM);
- measurement reproducibility $\lambda: \pm 0,005 \text{ N Nm}$ (1 minute)
- resolution $\lambda: 0.05 - 10 \text{ Nm}$.

Research has been conducted on three Bragg gratings, which differ from one another for λ_{BG} . Grating parameters are below:

- Bragg waves 1531; 1554,4; 1566,5 Nm;
- grating length: 10 mm;
- grating type: apodized;
- maximum strain: $\pm 1000\mu\epsilon$;
- reflecting spectrum: $<0,25 \text{ Nm}$ in 3 dB;
- reflection: 70- 90%;
- capacity (reflection) -0.5 dB: $<0,12 \text{ Nm}$;
- capacity (reflection) -25 dB: 0,5 Nm;
- spectrum capacity: $<0,25 \text{ Nm}$ in 3 dB.

Each FBG spectral characteristic has been defined at 1000 points. Based on the obtained measurements there have been constructed spectral characteristics and obtained the Bragg wave lengths values for every temperature magnitude. Proceeding from that, from the temperature outcomes there has been got a diagram of Bragg wavelength. Diagram analysis shows, that the Bragg wavelength value increases along with temperature rise, which is proved with the measurements results in the table 1.

Table 1. Bragg wave length dependent on the preset temperature

$\lambda_B[\text{nm}]$	T [°C]
1527,83	18
1528,022	30
1528,022	35
1528,117	40
1528,143	45
1528,242	50
1528,243	55

1528,3	60
1528,369	65
1528,42	70
1528,49	75
1528,527	80
1528,582	85
1528,608	90
1528,675	95
1528,733	100
1528,778	105
1528,82	110
1528,877	115
1528,955	120
1529,005	125
1529,093	130
1529,097	135

Figure 3 illustrates dependence of Bragg wavelength on the temperature. Research shows, that an average Bragg wavelength change constitutes 0,01075 Nm/1°C.

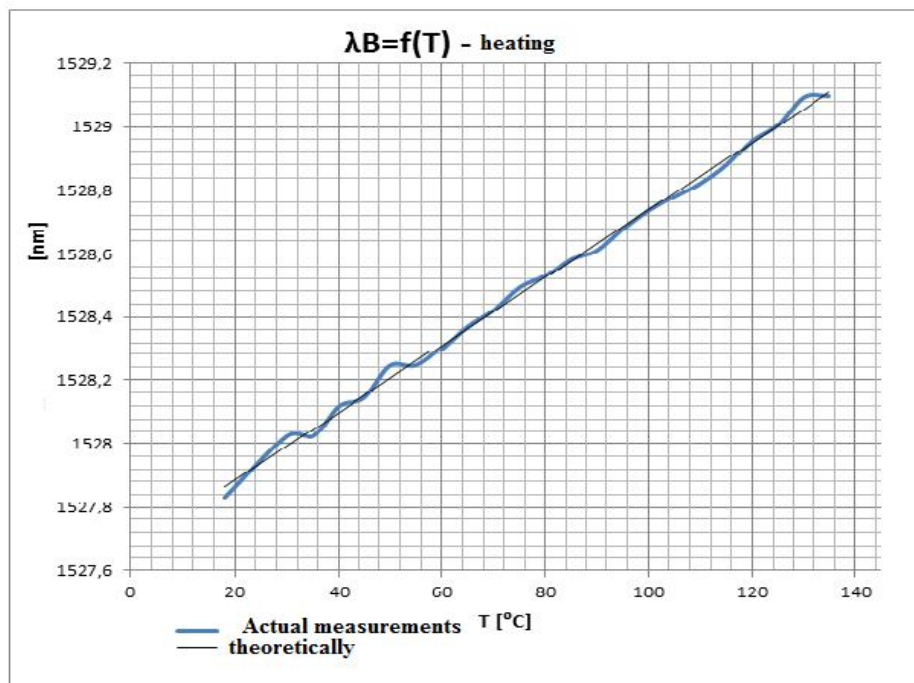


Fig 3. Dependence of Bragg wavelength on the temperature

Diagram on the figure 3 shows the dependence of Bragg wavelength on the values of definite temperatures at which the measurements have been executed. The diagram shows, that the Bragg wavelength linearity shifts to the longer waves at the temperature rise. Based on stored in such a way dependence there has been defined the grating's temperature sensitivity. Along the diagram, containing the actual measurements, there has been introduced a trend line, which proves the linearity of the Bragg wavelength change.

Further the figures 4-11 show measurement results obtained in consequence of the experiment. By virtue of a big amount of obtained results under laboratory conditions we deduce several measurement diagrams at different temperatures.

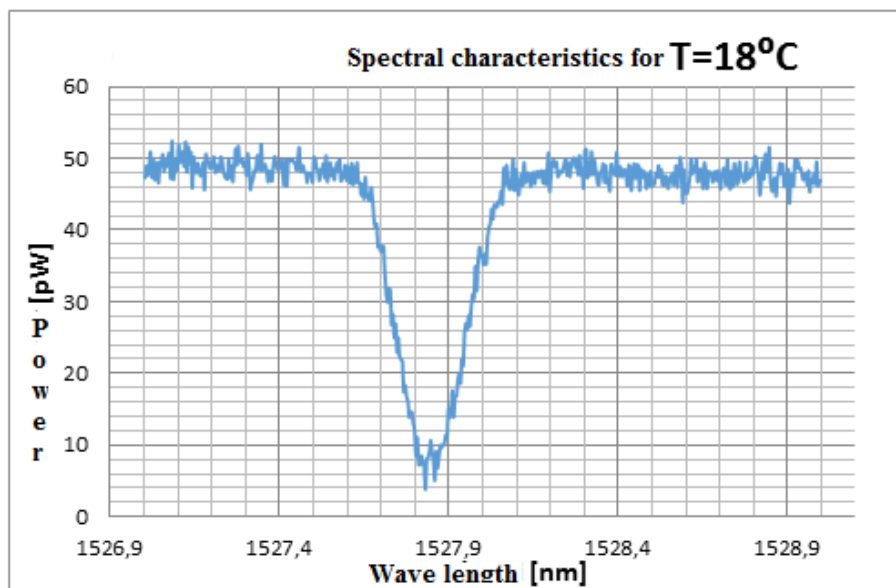


Fig.4. Spectral characteristics of FBG at 18 ° C

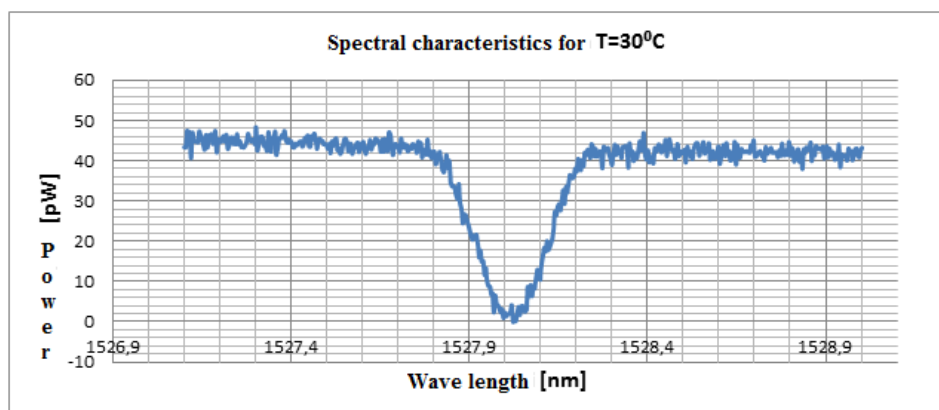


Fig.5. Spectral characteristics of FBG at 30 ° C

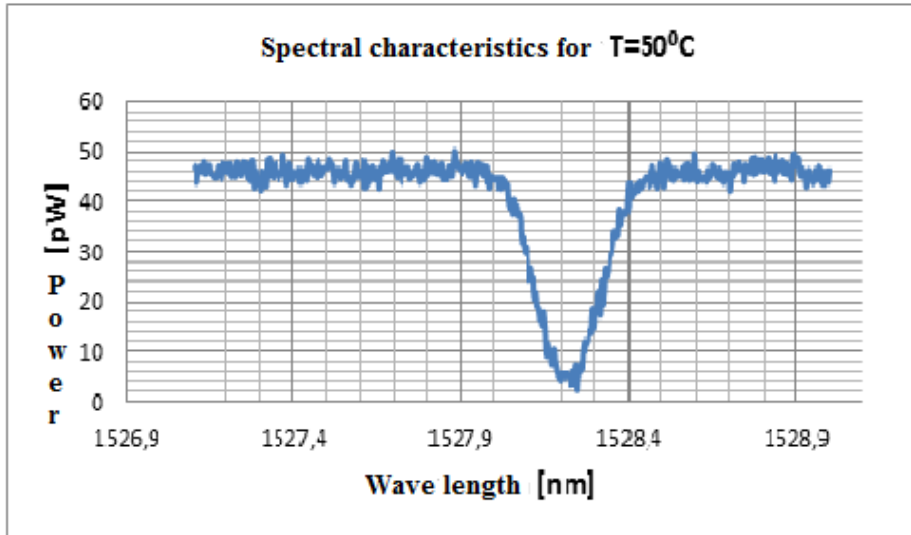


Fig.6. Spectral characteristics of FBG at T 50 ° C

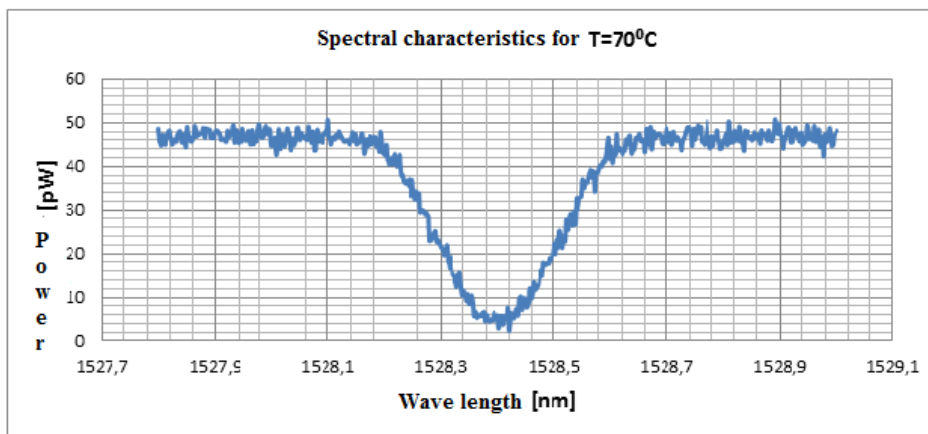


Fig.7. Spectral characteristics of FBG at T 70 ° C

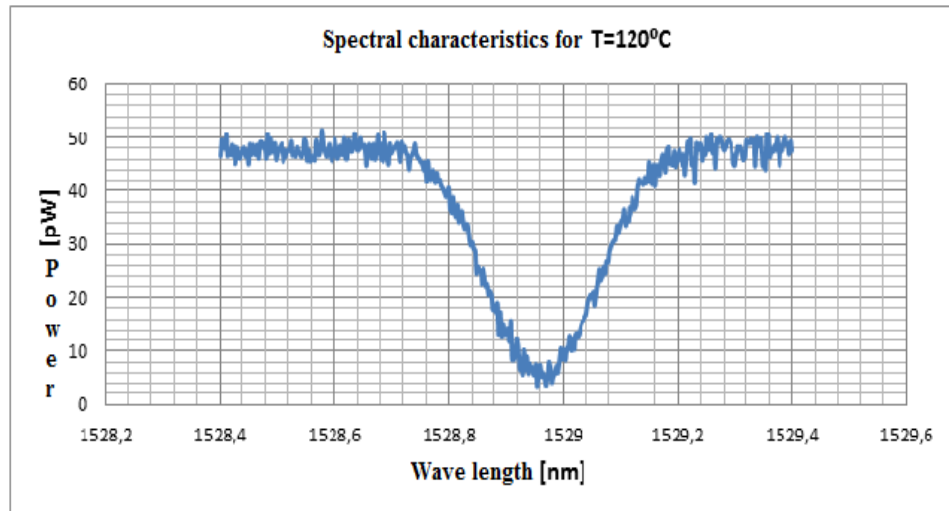


Fig.8. Spectral characteristics of FBG at T 120 ° C

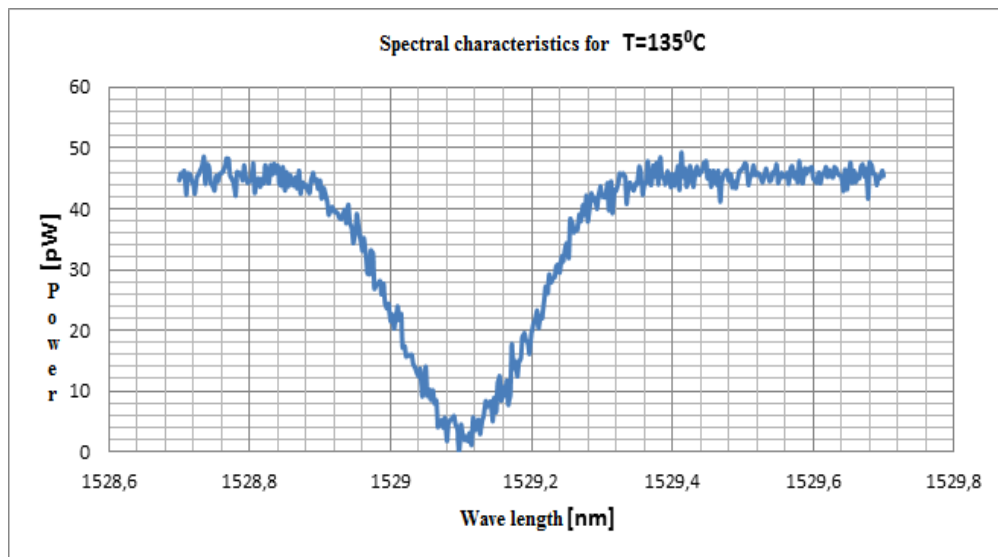


Fig.9. Spectral characteristics of FBG at T 135 ° C

Conclusions

Spectral characteristics, obtained by the experiment can both trace the obtained characteristics sensitivity and the peak behavior during the experiment that is, allow carrying out the peaks spectra comparative analysis of the sizes and forms change.

Fiber Bragg grating, being used as a temperature sensor secures the linear characteristic of the magnitude being measured for the grating central wavelength.

Having analyzed the spectra, it might be confirmed, that the peaks form and size do not change or change insufficiently.

As a consequence of that we might conclude, that FBG spectral characteristics are persistent to temperature change, which allows using FBG as a sensitive element upon manufacturing fiber optic sensors and temperature control systems, as well in fiber-optical measuring systems under extreme operation conditions.

Experimental researches of the environment impact at FBG spectral characteristics have been carried out in the laboratories of optoelectronics faculty of electric engineering and computer sciences of Lublin technical university. This work is supported by grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of the Project № AP05132778 «Research and development of signals interrogation system with fiber-optic refractometer in telecommunication networks».

References

1. Wójcik W., Kisała P., Ciężczyk S. The conception of the temperature distribution measurement with the use of the Bragg Fiber Gratings // Przegląd Elektrotechniczny. ISSN 0033-2097, R. 84 NR 3/2008.
2. Protopopov V.N., Karpov V.I., Medvedkov O.I., Vasiljyev S.A., Grekov M.V., Dianov E.M., Palto S.P. Temperature sensor based on Bragg fiber grating // Proceedings of SPIE, 4083 'Advances in Fiber Optics', edited by E.M.Dianov.– 2000 – P. 224-228.
3. Wójcik W., Kashaganova G.B. Study of Bragg fiber gratings' spectral characteristics // Proceedings of II International scientific - practical conference «Information and telecommunication technologies: education, science, practice». – Almaty, Kazakhstan, December 3-4, 2015 – V.II. – p.p. 77-81.
4. Kersey A. D., Davis M. A., Patrick H. J., LeBlanc M., Koo K. P., Askins C. G., Putnam M. A. and Friebele E. J. Fiber Grating Sensors // Journal. of Lightwave Tech.– 1997.– Vol. 15, №8.– P.1442-63.
5. Sokolov A.N., Yatseyev V.A. Fiber-optical sensors and systems: principles of construction, possibilities and prospects // Measuring equipment. LightWave. 2006.
6. O. V. Butov, K. M. Golant, Yu. K. Chamorovskii, A. A. Kolosovskii, V. A. Isaev, V. V. Voloshin, I. L. Vorob'ev, Ya. V. Gousev, I. V. Sokolov, In-fiber Bragg gratings for sensor applications at high temperatures // in Optical Fiber Communication Conference on CD-ROM (The Optical Society of America, Washington, DC, 2004), FC5
7. Kronenberg, Rastogi, Giaccari, Limberner, "Relative humidity sensor with optical Bragg gratings", Optics letters, Vol.27, No. 16, p.p. 1385-1387, 2002
8. T.L.Yeo, T. Sun, K.T.V. Grattan, D. Pany, R. Lade and B.D. Powell, "Characterisation of a polymer-coated fibre Bragg grating sensor for relative humidity sensing", Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 110, Issue 1, Pages 148-156, 2005
9. Ph. Giaccari, H.G. Limberger, P. Kronenberg, "Influence of humidity and temperature on polyimide-coated fiber Bragg gratings", BGPP, OSA, Stresa (2001)
10. Smelser, C. W. High Temperature Stable Fiber Bragg Gratings in hydrogen loaded all-silica core Fiber / C. W. Smelser, D. Grobnc, St. J. Mihailov // OSA/FiO/LS/AO/AIOM/ COSI/ LM/SRS. - 2009. - paper FTuD7.

11. Ningliang, Liu. Bending insensitive sensors for strain and temperature measurements with Bragg gratings in Bragg fibers / Ningliang Liu, Yuhua Li, Ying Wang, Haiyan Wang, Wenbin Liang, Peixiang Lu // OPTICS EXPRESS. – 2011. – V. 19. – No. 15.
12. Yu, F. T. S. Fiber Optic Sensors / F. T. S. Yu, S. Yin. – New York: Marcel Dekker, 2002. – 510 p.
13. Srimannarayana, K. Fiber bragg grating and long period grating sensor for simultaneous measurement and discrimination of strain and temperature effects / K. Srimannarayana, M. Sai Shankar, R. L. N. Sai Prasad et al. // Optica Applicata. – 2008. – V. 38. – № 3. – P. 601–606.
14. Yang, B. Fiber bragg grating sensor for simultaneous measurement of strain and temperature / B. Yang, X. Tao, J. Yu // Journal of Industrial Textiles. – 2004. – V. 34. – № 2. – P. 97–115.
15. Wei, L. Highly sensitive fiber Bragg grating refractive index sensors / L. Wei, H. Yanyi, X. Yong, R. K. Lee, A. Yariv // Applied Physics Letters. – 2005. – V. 86. – P. 151122.
16. Huang, R. Fiber Bragg grating with triangular spectrum as wavelength readout in sensor systems / R. Huang, Y. W. Zhou, H. W. Cai, R. H. Qu, Z. J. Fang // Opt. Commun. – 2004. – V. 229. – P. 197–201.
17. Han, Y. G. Simultaneous measurement of bending and temperature based on a single sampled chirped fiber Bragg grating embedded on a flexible cantilever beam / Y. G. Han, X. Dong, J. H. Lee, S. B. Lee // Opt. Lett. – 2006. – V. 31(9). – P. 2839–2841.
18. Davis, M.A. Simultaneous measurement of temperature and strain using fiber Bragg grating and Brillouin scattering/ M.A. Davis, A.D. Kersey // Proc. Of SPIE. – 1996. – Vol. 2838. – P. 114–123.
19. Aybatov, D. L. Distributed temperature fiber Bragg grating sensor / D. L. Aybatov, R. R. Kiyamova, O. G. Morozov, [et al.] // Proceedings of SPIE. – 2009. – V. 7374. – P. 73740B.
20. Seryegin N.G. Use of fiber-optical sensor for control, check and calibration of temperature sensors / Seryegin N.G., Belyakov V.A., Sorokin S.V., Yakovlev A.V. // Engineering herald. – 2014. – # 6. – p.p. 526–533.

АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ШЫҒЫС МӘЛІМЕТТЕРІН КЕРІ БАЙЛАНЫС КҮЙІ АРҚЫЛЫ БАҚЫЛАУ

Алимхан К.^{1,2}, Мамырбаев О.Ж.³, Тасболатұлы Н.^{3,4},
Аманжолова А.А.¹, Боромбаева А.Б.¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, ҚАЗАҚСТАН

²Тоkyo Denki University, JAPAN

³Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, ҚАЗАҚСТАН

⁴әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, ҚАЗАҚСТАН

e-mail: tasbolatuly@gmail.com

***Аннотация.** Бұл жұмыс жоғары ретті анықталмаған уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелерді кері байланыс күйі бойынша кең ауқымды практикалық бақылау мәселесіне арналған. Уақыт кешігуі бар жүйе сызықсыздығының жұмсақ жағдайларында масштабтау арқылы реттелетін біртекті күйі бойынша кері байланыс контроллерін құрамыз. Біртекті Ляпунов-Красовский функционалының көмегімен біртекті өсу жағдайымен шектелген уақыт кешігуі бар сызықсыздыққа үстемдік ету үшін масштабтау коэффициенті реттеледі және мұның арқасында жабық-тұйық жүйенің барлық күйлері шектеулі жағдайында бақылау қателігін азайту мүмкіндігі туады.*

1. Кіріспе

Соңғы онжылдықтарда сызықтық емес жүйелердің шығыс мәліметтерін кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі көптеген ғылыми еңбектерде [1-11] зерттелініп, нәтижелер алынуда. Атап айтқанда, кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі интегратор дәрежесін қосу әдісі [3,4] арқылы және әмбебап басқару идеясы [1,2] көмегімен сызықтық емес жүйелер үшін кері байланыс күйі арқылы шешілді.

Дегенмен, жоғарыда аталған нәтижелерде уақыт кешігуінен болатын әсер қарастырылмаған. Кеңістіктегі жүйелер үшін уақыт кешігуі дегеніміз сигналдардың түпкі жылдамдықта таралуымен және қашықтықты еңсеру үшін уақыт қажет екендігімен анықталады [12]. Сигналға реакцияның кешігуі және кешіктірілген кері байланыс көптеген физикалық [13], химиялық [14], климаттық [15] және биологиялық [16] нысандар мен процестерге тән. Мысалы, уақыт кешігуі құбылыстары электр жүйелерінде, микротолқынды осциллятордың жұмысында, гидротехникалық жүйелерде және т.б. сол сияқты көптеген практикалық жүйелерде кездеседі және бұл уақыт кешігуі құбылысы жүйенің жұмысына айтарлықтай әсер етеді. Сол себепті, уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді тұрақтандыру мәселесі және олардың шығыс мәліметтерін бақылау мәселелері практикалық маңызға ие және соңғы жылдары бұл мәселеге үлкен көңіл бөлінуде.

Соңғы жылдары Ляпунов-Красовский әдісін қолдану нәтижесінде уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелерді тұрақтандыру проблемалары және уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелердегі ізіне түсу мәселелері бойынша айтарлықтай жетілдірілген және озық әдістер құрылды және ол [17-21] еңбектерде жарияланды. Уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелерді тұрақтандыру мәселесіне қарағанда уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелердің шығыс мәліметтерін бақылау баяу дамуда. Сызықсыздықта уақыт кешігуі бар болған жағдайда, шығыс мәліметтерін бақылау мәселелерінде кейбір қызықты нәтижелер алынды [22-24]. Дегенмен, бұл [22-24] жұмыстарда сызықтық емес жүйенің тек бір локалды жағдайы қарастырылады. Қаралып отырған жүйе табиғатынан уақыты кешіккен сызықтық емес болып табылғанда, мәселе күрделі әрі қиын шешіледі. Осы мәселелерді зерделей келе бізге мәлім болғаны уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелер үшін шығыс мәліметтерін бақылау мәселесінің көптеген қызықты есептері әлі шешімін таппаған. Осы мақалада біз кері байланыс күйі үстемдік ететін әдіс [25,26] арқылы ізіне түсу мәселелерін қарастыратын боламыз.

Келесі түрдегі анықталмаған уақыты кешіккен сызықтық емес жүйені қарастырайық:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t)^{p_1} + \varphi_1(t, x(t), x(t-d_1), u(t)), \\ &\vdots \\ \dot{x}_{n-1}(t) &= x_n(t)^{p_{n-1}} + \varphi_{n-1}(t, x(t), x(t-d_{n-1}), u(t)), \\ \dot{x}_n(t) &= u + \varphi_n(t, x(t), x(t-d_n), u(t)), \\ y(t) &= x_1(t), \end{aligned} \quad (1)$$

мұндағы $x(t) := (x_1(t), \dots, x_n(t))^T \in R^n$, $u \in R$, және $y(t) \in R$ - жүйенің күйі, басқарудың кіріс мәліметі және шығыс мәліметі сәйкесінше. Тұрақты сандар $d_i \geq 0$ ($i = 1, \dots, n$) күйлердің уақыт кешігуілері және мұндағы $x(\theta) = \varphi_0(\theta)$, $\theta \in [-d, 0]$, $d \geq \max\{d_1, \dots, d_n\}$ жүйенің алғашқы шарты. Мұндағы $\varphi_i(\cdot)$ белгісіз үздіксіз функциялар болып табылады, $p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \{p/q \in [0, \infty) : p \text{ және } q \text{ бүтін сандар, } p \geq q\}$, ($i = 1, \dots, n-1$) жүйенің жоғары реттілігін көрсетеді. Біздің мақсатымыз жүйелерде d_i уақыт кешігулері болған жағдайда да шекті уақыттан соң барлық күйлер шектелген аймақта болатындай және жүйенің шығыс мәліметі $y(t)$ -ді көзделген тірек сигналдың ізіне түсіретін басқаруды табу болып табылады.

2. Математикалық алғышарттар

Бұл жұмыста келесі біртекті функция анықтамасын және бірнеше пайдалы леммаларды қолданамыз.

Анықтама ([27]). $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$ координаттар жиыны және n -өлшемді $r = (r_1, \dots, r_n)$ оң нақты сандары үшін біз келесі анықтамаларды енгіземіз:

$$(i) \quad \Delta_s(x) \text{ түрлендіруі } \Delta_s^r(x) = (s^{r_1}x_1, \dots, s^{r_n}x_n), \quad \forall x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n,$$

$\forall s > 0$ арқылы анықталған салыстыру болып табылады, мұндағы r_i координат салмақтары деп аталады. Нұсқаудың қарапайымдылығы үшін мұндай түрлендіру салмағын $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ арқылы белгілейміз.

(ii) $V \in C(R^n, R)$ функциясы τ дәрежесі бойынша біртекті деп аталады, егер мұндағы, $\tau \in R$ нақты саны келесі түрде болса $V(\Delta_s^r(x)) = s^\tau V(x_1, \dots, x_n), \quad \forall x \in R^n - \{0\}$.

(iii) $f \in C(R^n, R^n)$ векторлық өрісі τ дәрежесі бойынша біртекті деп аталады, егер f_i компоненті әрбір i үшін $\tau + r_i$ дәрежесі бойынша біртекті $f_i(\Delta_s^r(x)) = s^{\tau+r_i} f_i(x_1, \dots, x_n), \quad \forall x \in R^n, \quad \forall s > 0, \quad i = 1, \dots, n$ үшін.

(iv) Біртекті p -норма $\|x\|_{\Delta, p} = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^{p/r_i} \right)^{1/p}, \quad \forall x \in \mathbb{R}^n, \quad p \geq 1$ түрінде анықталады. Қарапайым түрде келесіше жазамыз $\|x\|_{\Delta}$ үшін $\|x\|_{\Delta, 2}$.

Әрі қарай, біз басқарудың соңғы нұсқасында жиі қолданылатын және маңызды рөл атқаратын бірнеше техникалық леммаларды ұсынамыз.

Лемма 1 [27]. $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ -ны түрлендіру салмағы деп белгілейік, сонымен бірге $V_1(x)$ және $V_2(x)$ дәрежелері сәйкесінше τ_1 және τ_2 тең біртекті функциялар болсын. Онда, $V_1(x)V_2(x)$ де Δ түрлендіруіне қатысты дәрежесі $\tau_1 + \tau_2$ тең біртекті функция болып табылады.

Лемма 2 [27]. $V: R^n \rightarrow R$ дәрежесі τ болатын Δ түрлендіру салмағына қатысты біртекті функция болсын. Онда келесі (i) және (ii) орындалады:

(i) Сондай ақ $\partial V / \partial x_i$ дәрежесі $\tau - r_i$ бойынша біртекті, мұндағы r_i шамасы x_i -дің біртекті салмағы.

(ii) Мұндағы $\sigma > 0$ тұрақтысы сондай ол $V(x) \leq \sigma \|x\|_{\Delta}^{\tau}$ қанағаттандырады. Сонымен қатар, егер $V(x)$ оң анықталса, онда $\rho > 0$ тұрақтысы бар және ол келесі түрде $\rho \|x\|_{\Delta}^{\tau} \leq V(x)$.

Лемма 3 [25]. Барлық $x, y \in R$ және тұрақты $p \geq 1$ үшін келесі теңсіздіктер орындалады:

$$(i) \quad |x + y|^p \leq 2^{p-1} |x^p + y^p|, \quad (|x| + |y|)^{1/p} \leq |x|^{1/p} + |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} (|x| + |y|)^{1/p}$$

Егер $p \in R_{odd}^{\geq 1}$, онда

$$(ii) \quad |x - y|^p \leq 2^{p-1} |x^p - y^p| \quad \text{және} \quad |x|^{1/p} - |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} |x - y|^{1/p}.$$

Лемма 4 [26]. a, b оң тұрақты сандар болсын. Онда, кез келген нақты функция $\gamma(x, y) > 0$ үшін келесі теңсіздік орындалады:

$$|x|^a |y|^b \leq \frac{a}{a+b} \gamma(x, y) |x|^{a+b} + \frac{b}{a+b} \gamma^{-a/b}(x, y) |y|^{a+b}.$$

Бұл мақалада (1) түрдегі уақыты кешіккен жоғары дәрежелі сызықтық емес жүйелер үшін кері байланыс күйі арқылы шығыс мәліметтерін практикалық бақылау мәселесі қарастырылады. Мұнда біз осы мәселенің дәл анықтамасын береміз.

Кері байланыс күйі арқылы кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі: (1) түрдегі жүйені қарастырамыз және $y_r(t)$ тірек сигналы уақыт бойынша өзгеретін C^1 -шектелген функция $[0, \infty)$. Кез келген берілген $\varepsilon > 0$ үшін күйі бойынша кері байланыс контроллер жобасын келесі түрде аламыз:

$$u(t) = g(x(t), y_r(t)), \quad (2)$$

мұнда

(i) Тұйықталған (1) жүйенің барлық күйі (2) түрдегі контроллер күйімен жақсы анықталған және $[0, \infty)$ аралығында глобалды шектелген.

(ii) Кез келген бастапқы жағдай үшін $T > 0$ соңғы уақыт бар, бұл

$$|y(t) - y_r(t)| < \varepsilon, \quad \forall t \geq T > 0. \quad (3)$$

Шығыс мәліметтерін кең ауқымды практикалық бақылау мәселесін шешу үшін біз келесі екі болжам жасаймыз:

Болжам 1. Мұндағы тұрақтылар C_1, C_2 және $\tau \geq 0$

$$\begin{aligned} |\varphi_i(t, x(t), \bar{x}(t-d_i), u(t))| \leq C_1 \left(|x_1(t)|^{(r_i+\tau)/r_1} + |x_2(t)|^{(r_i+\tau)/r_2} + \dots + |x_i(t)|^{(r_i+\tau)/r_i} \right. \\ \left. + |x_1(t-d_1)|^{(r_i+\tau)/r_1} + |x_2(t-d_2)|^{(r_i+\tau)/r_2} + \dots + |x_i(t-d_i)|^{(r_i+\tau)/r_i} \right) + C_2 \end{aligned} \quad (4)$$

мұндағы

$$\bar{x}(t-d_i) = x(t-d_1), x(t-d_2), \dots, x(t-d_n),$$

$r_1 = 1, r_{i+1} p_i = r_i + \tau > 0, i = 1, \dots, n$ және $p_n = 1$.

Болжам 2. $y_r(t)$ тірек сигналы үздіксіз дифференциалданады. Сонымен бірге, белгілі $D > 0$ тұрақтысы сондай, ол келесіні қанағаттандырады:

$$|y_r(t)| + |\dot{y}_r(t)| \leq D, \quad \forall t \in [0, \infty) \quad (5)$$

3. Кері байланыс күйі бойынша ізіне түсу бақылауын жобалау.

Бұл жұмыста біз Болжам 1-2 арқылы (1) түрдегі уақыт кешігуі бар жоғары ретті сызықтық емес жүйелер үшін уақытқа тәуелсіз кері байланыс күйі арқылы шығыс мәліметтерін бақылау мәселесін қарастырамыз. Ол үшін алдымен келесі координата түрлендіруін енгіземіз:

$$z_1 := x_1 - y_r, \quad z_i := \frac{x_i}{L^{\kappa_i}}, \quad i = 2, \dots, n, \quad v := \frac{u}{L^{\kappa_n+1}} \quad (6)$$

мұндағы $\kappa_1 = 0$, $\kappa_i = (\kappa_{i-1} + 1)/p_{i-1}$, $i = 2, \dots, n$ және $L \geq 1$ масштабтау коэффициенті болып табылады және есептеу барысында анықталатын болады. Олай болса (1) жүйені z_i жаңа координатасында келесі түрде сипаттауға болады:

$$\begin{aligned} \dot{z}_i &= Lz_{i+1}^p + \psi_i(t, z(t), z(t-d_i), v), \quad i = 1, \dots, n-1, \\ \dot{z}_n &= Lv + \psi_n(t, z(t), z(t-d_n), v), \\ y &= z_1 \end{aligned} \quad (7)$$

мұндағы

$$\begin{aligned} \psi_1(t, z(t), z(t-d_1), v) &= \varphi_1(t, z(t), z(t-d_1), v) - \dot{y}_r, \\ \psi_i(t, z(t), z(t-d_i), v) &= \varphi_i(t, z(t), z(t-d_i), v)/L^{\kappa_i}, \quad i = 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (8)$$

Әрі қарай Болжам 1 және Лемма 3 пайдаланып, $L \geq 1$, y_r және \dot{y}_r шектеулілігі Болжам 2 бойынша кепілдендірілген екендігі анық, C_1, C_2, τ, κ_i және L тұрақтыларынан тәуелді \bar{C}_i , $i = 1, 2$ тұрақтысының бар болуын қамтамасыз етеді, осыдан келіп (4) келесі түрде сипатталады

$$\begin{aligned} |\psi_1(t, z(t), z(t-d_1), v)| &\leq \bar{C}_1 \left(|z_1(t)|^{(\eta+\tau)/\eta} + |z_1(t-d_1)|^{(\eta+\tau)/\eta} \right) + \bar{C}_2 \\ |\psi_i(t, z(t), z(t-d_i), v)| &\leq \bar{C}_1 L^{1-\nu_i} \sum_{j=1}^i \left(|z_j(t)|^{(r_i+\tau)/r_j} + |z_j(t-d_i)|^{(r_i+\tau)/r_j} \right) + \frac{\bar{C}_2}{L^{\kappa_i}}, \quad i = 2, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

мұндағы $\bar{C}_1 > 0$, $\bar{C}_2 > 0$ және $\nu_i := \min \{1 - \kappa_j(r_i + \tau)/r_j + \kappa_i, 2 \leq j \leq i, 1 \leq i \leq n\} > 0$ қайсыбір тұрақтылар.

Әрі қарай, (7) жүйе үшін күйі бойынша кері байланыс контроллер жобалауда біртекті үстемдік әдісін қолданамыз.

3.1 Тұрақтылықты талдау

Алдымен біз (7) жүйедегі $\psi_i(\cdot)$, $i = 1, \dots, n-1$ сызықсыздықты есепке алмай номиналды сызықтық емес жүйе үшін күйі бойынша біртекті кері байланыс контроллерін құрамыз, яғни,

$$\dot{z}_i = Lz_{i+1}^p, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad \dot{z}_n = Lv, \quad y = z_1 \quad (10)$$

[19,25,26] еңбектердегі тәсілдерді пайдалана отырып, (8) үшін біртекті күйі бойынша кері байланыс тұрақтандырғышын құрастыра аламыз және оны келесі Теоремада көрсетеміз

Теорема 1. Берілген нақты сан $\tau \geq 0$ үшін сондай τ дәрежелі біртекті күйдегі кері байланыс контроллері бар, және сондықтан сызықтық емес жүйелер (10) глобалды асимптоталық тұрақты.

Дәлелдеу. Нәтижені дәлелдеу үшін (10) жүйеге біртекті тұрақтандырғышты нақты құру үшін индуктивті аргументті (рекурсивтік дизайн әдісін) қолданамыз.

Алғашқы қадам 1. $\xi_1 = z_1^{\sigma/r_1} - z_1^{*\sigma/r_1}$ болсын, мұндағы $z_1^* = 0$ және $\sigma \geq \max_{1 \leq i \leq n} \{1, \tau + r_i\}$ оң сандар. Ляпунов функциясын таңдаймыз

$$V_1 = W_1 = \int_{z_1^*}^{z_1} \left(s^{\sigma/r_1} - z_1^{*\sigma/r_1} \right)^{(2\sigma - \tau - r_1)/\sigma} ds \quad (11)$$

(10) формуладан келесіні аламыз

$$\dot{V}_1 \leq -nL\xi_1^2 + L\xi_1^{(2\sigma - \tau - r_1)/\sigma} \left(z_2^{p_1} - z_2^{*p_1} \right) \quad (12)$$

мұндағы z_2^* виртуалды контроллер және ол келесі түрде таңдалады

$$z_2^* = -n^{1/p_1} z_1^{(r_1 + \tau)/p_1} := -\beta_1^{r_2/\sigma} \xi_1^{r_2/\sigma}, \quad \beta_1 = n^{\sigma/(r_2 p_1)} \quad (13)$$

Қадам k ($k = 2, \dots, n$). $k-1$ қадамында C^1 табылады, оң және айқын Ляпуновтың функциясы V_{k-1} бар және z_1^*, \dots, z_k^* анықтайтын виртуалды контроллерлер жиынтығы келесі түрде анықталады

$$\begin{aligned} z_1^* &= 0, & \xi_1 &= z_1^{\sigma/r_1} - z_1^{*\sigma/r_1} \\ z_i^* &= -\beta_{i-1}^{r_i/\sigma} \xi_{i-1}^{r_i/\sigma}, & \xi_i &= z_i^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i}, \quad i = 2, \dots, k \end{aligned} \quad (14)$$

$\beta_i > 0, 1 \leq i \leq k-1$ бірге тұрақтылар сондай, ол келесі теңсіздікті қанағаттандырады

$$\dot{V}_{k-1} \leq -(n-k+2)L \sum_{l=1}^{k-1} \xi_l^2 + L\xi_{k-1}^{(2\sigma - \tau - r_{k-1})/\sigma} \left(z_k^{p_{k-1}} - z_k^{*p_{k-1}} \right). \quad (15)$$

(15) те k қадамында орындалатындығын көреміз, сонымен қатар, оң анықталған C^1 Ляпунов функциясы бар және ол келесі түрде анықталады

$$V_k(\bar{z}_k) = V_{k-1}(\bar{z}_{k-1}) + W_k(\bar{z}_k), \quad W_k(\bar{z}_k) = \int_{z_k^*}^{z_k} \left(s^{\sigma/r_k} - z_k^{*\sigma/r_k} \right)^{(2\sigma - \tau - r_k)/\sigma} ds \quad (16)$$

және виртуалды контроллер $z_{k+1}^* = -\beta_k^{r_{k+1}/\sigma} \xi_k^{r_{k+1}/\sigma}$ сондай, ол келесіні қанағаттандырады

$$\dot{V}_k \leq -(n-k+1)L \sum_{j=1}^k \xi_j^2 + L \xi_k^{(2\sigma-\tau-r_k)/\sigma} (z_{k+1}^{p_k} - z_{k+1}^{*p_k}). \quad (17)$$

(17) теңсіздікті дәлелдеу [7,8,22] дәлелдеулермен өте ұқсас болғандықтан біз оны бұл жұмыста қарастырмаймыз.

Жоғарыда келтірілген индуктивті аргументті қолдана отырып n -ші қадамда келесі түрдегі күйі бойынша кері байланыс контроллері бар деген шешімге келеміз

$$v = -\beta_n^{r_{n+1}/\sigma} \xi_n^{r_{n+1}/\sigma} = -\left(\sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i z_i^{\sigma/r_i} \right)^{r_{n+1}/\sigma} \quad (18)$$

C^1 бірге оң анықталған Ляпунов функциясы

$$V_n = \sum_{i=1}^n \int_{z_i^*}^{z_i} (s^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i})^{(2\sigma-\tau-r_i)/\sigma} ds \quad (19)$$

келесіні аламыз

$$\dot{V}_n \leq -L \sum_{j=1}^n \xi_j^2, \quad (20)$$

мұндағы $\xi_i = z_i^{\sigma/r_i} - z_i^{*\sigma/r_i}$ және $\bar{\beta}_i = \beta_n \cdots \beta_i$, $i=1, \dots, n$ оң тұрақтылар. Олай болса (10) және (18) жабық тұйық жүйесі глобалды асимптоталық тұрақты.

3.2 (1) түрдегі уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйенің ізіне түсу бақылауын жобалау

Енді біз (1) жүйеге кең ауқымды қадағалаушы контроллерді жобалау үшін біртекті үстемдік әдісін қолдануға дайынбыз, яғни осы мақалада келесі негізгі нәтижені атап өтуге болады.

Теорема 2. (1) түрдегі уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйе үшін 1-2 Болжамдардан кейін шығыс мәліметтерін кең ауқымды практикалық бақылау мәселесі (7) және (18) тұжырымдардағы $u = L^{k_n+1}v$ күйі бойынша кері байланыс контроллері арқылы шешіледі.

Дәлелдеу. (18) ден келесіні аламыз

$$v = -\beta_n^{r_{n+1}/\sigma} \xi_n^{r_{n+1}/\sigma} = -\left(\sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i z_i^{\sigma/r_i} \right)^{r_{n+1}/\sigma} \quad (21)$$

Енді біз жинақы белгілерді анықтаймыз

$$z = (z_1, \dots, z_n)^T, \quad E(z) = (z_2^{p_1}, \dots, z_n^{p_{n-1}}, \nu)^T \quad \text{және} \quad F(z) = (\varphi_1, \varphi_2/L^{\kappa_2}, \dots, \varphi_n/L^{\kappa_n})^T \quad (22)$$

Бірдей белгілерді (7) және (22) пайдалану арқылы жабық циклдық жүйе (7) - (18) келесі ықшамды түрде жазылуы мүмкін:

$$\dot{z} = LE(z) + F(z) \quad (23)$$

Сонымен қатар, Анықтама 1-дегі $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$ түрлендіру салмағын енгізе отырып, оны келесіше көрсетуіміз мүмкін, яғни, V_n біртекті дәрежесі $2\sigma - \tau$ -дың Δ қарағанда.

Демек сол (19) Ляпунов функциясын және Лемма 2, Лемма 3 қолданып, келесідей қорытынды жасауға болады

$$\dot{V}_n(z) = L \frac{\partial V_n}{\partial Z} E(z) + \frac{\partial V_n}{\partial Z} F(z), \quad \dot{F}(z) \leq -m_1 L \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V_n}{\partial z_i} \psi_i \quad (24)$$

мұндағы $m_1 > 0$ тұрақты шама.

(9), Болжам 1 және $L > 1$ ден, біз $\delta_i > 0$ және $0 < \gamma_i \leq 1$ тұрақтыларын келесідей табамыз

$$|\psi_i| \leq \delta_i L^{1-\gamma_i} \left(\|z(t)\|_{\Delta}^{r_i+\tau} + \|z(t-d_j(t))\|_{\Delta}^{r_i+\tau} \right) + \bar{C}_2 / L^{\kappa_i} \quad (25)$$

Лемма 2 бойынша және $i = 1, \dots, n$ үшін келесідей белгілеу арқылы, $\partial V_n / \partial z_i$ біртекті дәрежесі $2\sigma - \tau - r_i$ көреміз

$$\left| \frac{\partial V_n}{\partial z_i} \right| \leq m_2 \|z\|_{\Delta}^{2\sigma - \tau - r_i}, \quad m_2 > 0 \quad (26)$$

Сондықтан

$$\left| \frac{\partial V_n}{\partial z_i} \psi_i \right| \leq m_2 (1 + \delta_i) L^{1-\gamma_i} \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} + m_2 \|z\|_{\Delta}^{2\sigma - \tau - r_i} \|z(t-d_j(t))\|_{\Delta}^{r_i+\tau} + \frac{\omega^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1+\gamma_i}}, \quad (27)$$

мұндағы $\omega =: m_2 \bar{C}_2$, $\frac{2\sigma - \tau - r_i}{2\sigma} \leq 1$, $\frac{\tau + r_i}{2\sigma} \leq 1$ және $\frac{2\sigma - (1 - \gamma_i)}{\tau + r_i} - (1 - \gamma_i) \geq 1 + \kappa_i$.

(27)-ні (24)-ке қою арқылы келесіні аламыз

$$\dot{V}_n(z) \leq -L \left(m_1 \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} - (1+m_2(1+\delta)) \sum_{i=1}^n L^{-\gamma_i} \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} - m_2 \sum_{i=1}^n L^{-\gamma_i} \|z\|_{\Delta}^{2\sigma-r_i-\tau} \|z(t-d_i)\|_{\Delta}^{r_i+\tau} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{\omega^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1+\gamma_i}} \quad (28)$$

Лемма 3 бойынша $m_3 > 0$ тұрақтысы бар және ол келесіні қанағаттандырады

$$m_2 \|z\|_{\Delta}^{2\sigma-r_i-\tau} \|z(t-d_i)\|_{\Delta}^{r_i+\tau} \leq \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} + m_3 \|z(t-d_i)\|_{\Delta}^{2\sigma}, \quad (29)$$

Бұл келесі нәтижені береді

$$\dot{V}_n(z) \leq -L \left(m_1 \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} - (2+m_2(1+\delta)) \sum_{i=1}^n L^{-\gamma_i} \|z\|_{\Delta}^{2\sigma} - m_3 \sum_{i=1}^n L^{-\gamma_i} \|z(t-d_i)\|_{\Delta}^{2\sigma} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{\omega^{2\sigma/(\tau+r_i)}}{L^{1+\gamma_i}} \quad (30)$$

Ляпунов-Красовский функционалын келесі түрде құрамыз:

$$V(z(t)) = V_n(z(t)) + \int_{t-d}^t \|z(s)\|_{\Delta}^{2\sigma} \eta ds, \quad (31)$$

мұндағы η оң тұрақты. $\eta = m_3 \sum_{i=1}^n L^{1-\gamma_i}$ болсын, (29) және (30) дан

$$\dot{V} \leq -L \left(m_1 - (2+m_2(1+\delta) + m_3) \sum_{i=1}^n L^{-\gamma_i} \right) \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma} + \frac{\rho_1}{L^{1+\gamma}}. \quad (32)$$

Демек, L -ді келесідегідей үлкен мөлшерін таңдау арқылы $L > \max \left\{ 1, \left((2+m_2(1+\delta) + m_3)/m_1 \right)^{-\gamma} \right\}$, мұнда $\gamma = \min_{1 \leq i \leq n} \{ \gamma_i \}$ және

$$\rho_1 = \sum_{i=1}^n \alpha^{2\sigma/(\tau+r_i)}.$$

Олай болса сондай $\rho_2 > 0$ тұрақтысы бар болады, (30) келесі түрге келеді

$$\dot{V}(z(t)) \leq -\rho_2 \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma} + 2\rho_1. \quad (33)$$

Сонымен бірге, $V_n(z)$ және $\int_{t-d}^t \|z(s)\|_{\Delta}^{2\sigma} \eta ds$ біртекті дәрежелі $2\sigma - \tau$ және 2σ түрлендіру Δ -ға қатысты. Сондықтан да Лемма 2-ге қатысты сондай $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ тұрақтылары бар болады

$$\lambda_1 \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma-\tau} \leq V_n(z(t)) \leq \lambda_2 \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma-\tau},$$

$$\lambda_3 \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma} \leq \int_{t-d}^t \|z(s)\|_{\Delta}^{2\sigma} \eta ds \leq \lambda_4 \|z(t)\|_{\Delta}^{2\sigma} \quad (34)$$

Осыдан келіп (33) және (34) бірлесуінен келесіні аламыз

$$\dot{V}(z(t)) \leq -\rho_2^{-1} V(z(t)) + \tilde{\rho}_1, \quad (35)$$

мұнда $\rho_2 = (\lambda_4 + (2\delta - \tau)/2\sigma)$ және $\tilde{\rho}_1 = \tau \lambda_2^{(\tau-2\sigma)/\tau} / (2\sigma \rho_2 L^{(2\sigma-\tau)/\tau}) + \rho_1 / L^{1+\gamma}$.

(35)-тен $T > 0$ сондай шеткі уақыт бар екендігін көрсету қиын емес, ол

$$V(z) \leq 3\tilde{\rho}_1, \quad \forall t \geq T \quad (36)$$

онда z_1 жеткілікті үлкен L болатын кез келген оң ауытқушылыққа қарағанда кішірек болуы мүмкін екені анық.

4. Қорытынды

Бұл жұмыста біз біртекті шарт жағдайдағы анықталмаған уақыты кешіккен сызықтық емес жүйелердің шығыс мәліметтерін практикалық бақылау мәселесін шешуді зерттедік. Біріншіден, біз біртекті күйі бойынша кері байланыс контроллер жобасын реттелеуге болатын масштабтау коэффициенттерімен құрастырдық. Содан кейін біртекті Ляпунов-Красовский функционалының көмегімен масштабтау пайдасын реттеу үшін біртекті үстемдік әдісін қайта құрдық. Кіріс мәліметтерін дұрыс таңдау арқылы шекті уақыт бірлігінде анықталмаған сызықтық емес жүйелердің класын кең ауқымды бақылау мүмкін екендігін көрсеттік.

Әдебиеттер

1. Qian, C., Lin, W. Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization / C. Qian, W. Lin // IEEE Trans. Autom. Control, 2002. – N. 47 (1). – P. 21–36.
2. Lin, W., Pongvuthithum, R. Adaptive output tracking of inherently nonlinear systems with nonlinear parameterization / W. Lin, R. Pongvuthithum // IEEE Trans. Autom. Control, 2003. – N. 48 (10). – P. 1737–1749.
3. Lin, W., Qian, C. Adding one power integrator: a tool for global stabilization of high-order lower-triangular systems / W. Lin, C. Qian // Syst. Control Lett. 2000. – N. 39 (5). – P. 339–351.
4. Lin, W., Qian, C. Adaptive regulation of high-order lower triangular systems: an adding a power integrator technique / W. Lin, C. Qian // Syst. Control Lett. 2000. – N. 39 (5). – P. 353–364.
5. Sun, Z. Y., Liu, Y. G. Adaptive practical output tracking control for high-order nonlinear uncertain systems / Z. Y. Sun, Liu Y. G. // Acta Automatica Sinica, 2008. – N. 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 / K. Alimhan, H. Inaba // *Int. J. of Modelling, Identification and Control*, 2008. – N. 5. – P. 1-13.
7. Alimhan, K., Inaba, H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems / K. Alimhan, H. Inaba // *Int. J. of Modelling, Identification and Control*, 2008. – N. 4. – P. 304-314.
8. Zhai, J., Fei, S. Global practical tracking control for a class of uncertain nonlinear systems / J. Zhai, S. Fei // *IET Control Theory and Applications*, 2011. – N. 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 / K. Alimhan, N. Otsuka // *CCIS: Communications in Computer and Information Science*, 2011. – N. 256. – 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 / K. Alimhan, N. Otsuka, A. A. Adamov, M. N. Kalimoldayev // *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. – Article ID 932097. – P. 10.
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 / K. Alimhan, N. Otsuka, M. N. Kalimoldayev, A. A. Adamov // *Int. J. of Control and Automation*, 2016. – N. 9. – P. 409-422.
12. Ikeda, K. Multiple-valued stationary state and its instability of the transmitted light by a ring cavity system / K. Ikeda // *Opt. Commun.*, 1979. Vol. 30. – P. 257.
13. Erneux, T. *Applied Delay Differential Equations* / T. Erneux. – New York: Springer, 2009.
14. Epstein, I. R. Delay effects and differential delay equations in chemical-kinetics / I. R. Epstein // *Int. Rev. in Phys. Chem.*, 1992. – Vol. 11. – P. 135.
15. Mokhov, I. I., Smirnov, D. A. El Nino Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices / I. I. Mokhov, D. A. Smirnov // *Geophys. Research Lett.*, 2006. – Vol. 33. L03708.
16. Bocharov, G. A., Rihan, F. A. Numerical modelling in biosciences using delay differential equations / G. A. Bocharov, F. A. Rihan // *J. Comp. Appl. Math.*, 2000. – Vol. 125. – P. 183.
17. Sun, Z. Y., Liu, Y. G., Xie, X. J. Global stabilization for a class of high-order time-delay nonlinear systems / Z. Y. Sun, Y. G. Liu, X. J. Xie // *Int. J. of Innovative Computing, Information and Control*, 2011. – N. 7. – P. 7119-7130.
18. Sun, Z. Y., Xie, X. J., Liu, Z. G. Global stabilization of high-order nonlinear systems with multiple time delays / Z. Y. Sun, X. J. Xie, Z. G. Liu // *Int. J. of Control*, 2013. – N. 86. – P. 768–778.
19. Chai, L. Global output control for a class of inherently higher-order nonlinear time-delay systems based on homogeneous domination approach / L. Chai // *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013. – Article ID 180717. – P. 6.

20. Gao, F. Z., Wu, Y. Q. Further results on global state feedback stabilization of high-order nonlinear systems with time-varying delays / F. Z. Gao, Y. Q. Wu // ISA Trans., 2015. – N. 55. – P. 41–48.
21. Zhang, X., Lin, W., Lin, Y. Non smooth feedback control of time-delay nonlinear systems: a dynamic gain based approach / X. Zhang, W. Lin, Y. Lin // IEEE Trans. on Automatic Control, 2017. – N. 62. – P. 438-444.
22. Yan, X. H., Song, X. M. Global practical tracking by output feedback for nonlinear systems with unknown growth rate and time delay / X. H. Yan, X. M. Song // The Scientific World Journal, 2014. – Article ID 713081. – P. 7.
23. Jia, X. L., Xu, S. Y., Chen, J., Li, Z., Zou, Y. Global output feedback practical tracking for time-delay systems with uncertain polynomial growth rate / X. L. Jia, S. Y. Xu, J. Chen, Z. Li, Y. Zou // Journal of the Franklin Institute, 2015. – N. 352. – P. 5551–5568.
24. Jia, X. L., Xu, S. Y., Ma, Q., Qi, Z. D., Zou, Y. Global practical tracking by output feedback for a class of non-linear time-delay systems / X. L. Jia, S. Y. Xu, Q. Ma, Z. D. Qi, Y. Zou // IMA Journal of Mathematical Control and Information, 2016. – N. 33. – P. 1067–1080.
25. 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.
26. 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.
27. Rosier, L. Homogeneous Lyapunov function for homogeneous continuous vector fields / L. Rosier // Systems & Control Letters, 1992. – N. 19. – P. 467–473.

ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОМ ПОВЕДЕНИИ РЕШЕНИИ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

Алдибеков Т.М.

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби
e-mail: aldibekov.tamasha@gmail.com

Аннотация. Рассматривается нелинейное дифференциальное уравнение, с частными производными первого порядка разрешенное относительно одной из производных. Установлены оценки сверху и снизу для нелинейного дифференциального уравнения с частными производными первого порядка. Использование дифференциальных неравенств доказано, что нелинейное дифференциальное уравнение, с частными производными первого порядка

разрешенное относительно одной из производных имеет решение стремящейся к нулю при стремлении на плюс бесконечность одной из независимой переменной.

Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение с частными производными первого порядка с $n + 1$ независимыми переменными разрешенное относительно одной из производных

$$\frac{\partial u}{\partial t} + H\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right) = 0 \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} & H\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right) = \\ & = \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n p_{1k}(t)y_k + f\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right)\right) \frac{\partial u}{\partial y_1} + \\ & + \left(\sum_{k=1}^n p_{2k}(t)y_k\right) \frac{\partial u}{\partial y_2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^n p_{nk}(t)y_k\right) \frac{\partial u}{\partial y_n} \\ & u(0, y_1, \dots, y_n) = \varphi(y_1, \dots, y_n) \end{aligned} \quad (2)$$

Мы используем работы [1], [2], [3], которые имеют некоторое описание в [4], [5]. Кроме, того используем [6].

Определяется (t, y) множество B следующим образом

$$B = \{(t, y): 0 \leq t < +\infty, c_k - L_k t \leq y_k \leq d_k + L_k t, k = 1, \dots, n\}$$

где $L_k > 0$, $c_k < 0 < d_k$. Функция $H(u, t, y, q) \in C^2$ определена в области $E \subseteq R^{2+2n}$, проекция которой на (t, y) -пространство содержит B . $(\varphi(0), 0, 0, \varphi_y(0)) \in E$ и $\varphi(y) \in C^2$. Задача (1), (2) при малых $|t|, \|y\|$, имеет единственное решение $u(t, y)$ класса C^2 [4, 173]. Возьмем в достаточно малой окрестности нуля точку $(t_0, y_0) \in B$, где $t_0 > 0$ и предполагаем решение $u(t, y)$ удовлетворяющее условию (2) проходит через точку $(t_0, y_0) \in B$ и продолжаемо при $t > t_0$. Для определенности обозначим это решение так $u(t, y; t_0, y_0)$.

Теорема. Пусть на множестве $E \subseteq R^{2+2n}$, проекция которого на (x, y) -пространство содержит B , выполняются следующие условия:

$$A) \left| H\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right) - H\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right) \right| \leq$$

$$\leq \sum_{k=1}^n L_k \left| \frac{\partial u}{\partial y_k} - \frac{\partial u}{\partial \bar{y}_k} \right|$$

В) Имеет место неравенство

$$f\left(u, t, y_1, \dots, y_n, \frac{\partial u}{\partial y_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial y_n}\right) < \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n p_{1k}(t) y_k$$

где $p_{ik}(t) \in C^2(I), t \in I \equiv [0, +\infty), i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n.$ и выполняются условия:

$$a_1) \quad -p_{k-1, k-1}(t) + p_{kk}(t) \geq \alpha_1 \psi(t), t \in I, k = 2, \dots, n; \alpha_1 > 0,$$

где $\psi(t) \in C(I), \psi(t) > 0, \int_{t_0}^{+\infty} \psi(t) dt = +\infty$

$$b_1) \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{|p_{ik}(t)|}{\psi(t)} = 0, i \neq k, i = 1, 2, \dots, n. k = 1, 2, \dots, n.$$

$$c_1) \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1}{v(t)} \int_{x_0}^t (-p_{kk}(s)) ds = \beta_k, k = 1, 2, \dots, n.$$

где $v(t) = \int_{t_0}^t \psi(s) ds \uparrow +\infty$ и имеет место неравенство $\beta_1 < 0,$

М) Имеет места неравенства

$$p_{ik}(t) \geq b_{ik}(t), b_{ik}(t) \in C^2(I), i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n.$$

$$f(u, t, y, q) \geq h(u, t, y)$$

где $h(u, t, y) \in C^2(D), D \subset E, |h(\theta, t, y)| \leq \delta(t) \|y\|,$ причем

$$\delta(t) \in C(I), \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\delta(t)}{\psi(t)} = 0$$

и выполняются условия

$$a_2) \quad b_{k-1, k-1}(t) - b_{kk}(t) \geq \alpha_2 \psi(t), t \in I, k = 2, \dots, n; \alpha_2 > 0,$$

$$b_2) \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{|b_{ik}(t)|}{\psi(t)} = 0, i \neq k, i = 1, 2, \dots, n. k = 1, 2, \dots, n.$$

$$c_2) \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1}{v(t)} \int_{t_0}^t b_{kk}(s) ds = \mu_k, k = 1, 2, \dots, n; \text{ где } \mu_1 < 0$$

Тогда

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} u(t, y; t_0, y_0) = 0$$

Доказательство. На множестве $E \subseteq R^{2+2n}$, проекция которого на (x, y) -пространство содержит B , рассматриваем уравнение

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} - f_1 \left(v, t, y, \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

где

$$f_1 \left(\vartheta, t, y, \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right) = \left(\sum_{k=1}^n p_{1k}(t) y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_1} + \left(\sum_{k=1}^n p_{2k}(t) y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^n p_{nk}(t) y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_n}$$

Для уравнения (3) характеристическая система дифференциальных уравнений имеет вид

$$\frac{dy_1}{dt} = - \sum_{k=1}^n p_{1k}(t) y_k, \quad \frac{dy_i}{dt} = - \sum_{k=1}^n p_{ik}(t) y_k, \quad i = 2, \dots, n. \quad (4)$$

Характеристическую систему (4) рассматриваем при начальных значениях

$$y_k|_{t=t_0} = y_k^0, \quad k = 1, \dots, n.$$

Решение характеристической системы (4) существует

$$y_k = \varphi_k(t, t_0, y_1^0, \dots, y_n^0), \quad k = 1, \dots, n. \quad (5)$$

при произвольных начальных данных $y_k^0, (k = 1, \dots, n)$. (5) разрешимы относительно y_1^0, \dots, y_n^0 и имеет места

$$y_k^0 = \varphi_k(t_0, t, y_1, \dots, y_n), \quad k = 1, \dots, n. \quad (6)$$

(6) образует интегральный базис уравнения (3).

В силу B) имеет место неравенство

$$\vartheta_t > H(u, t, y, \vartheta_y) \quad (7)$$

В самом деле

$$\begin{aligned} \vartheta_t - H(u, t, y, \vartheta_y) &= (\sum_{k=1}^n p_{1k}(t)y_k) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_1} + (\sum_{k=1}^n p_{2k}(t)y_k) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_2} + \dots + \\ &+ \left(\sum_{k=1}^n p_{nk}(t)y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_n} - \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n p_{1k}(t)y_k + f(v, t, y, \vartheta_y) \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_1} - \\ &- \left(\sum_{k=1}^n p_{2k}(t)y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_2} - \dots - \left(\sum_{k=1}^n p_{nk}(t)y_k \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_n} = \\ &= \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n p_{1k}(t)y_k - f(v, t, y, \vartheta_y) \right) \frac{\partial \vartheta}{\partial y_1} > 0 \end{aligned}$$

Возьмем $\omega_1(y) \in C^2$ такое, что $\omega_1(y) > \varphi(y)$.

Пусть $\vartheta(t_0, t, y) = \varphi_k(t_0, t, y_1, \dots, y_n), k \in \{1, \dots, n\}$ решение уравнения (3) $(\vartheta, t, y, \vartheta_y) \in E$ удовлетворяющее условию

$$\vartheta(t_0, t_0, y) = \omega_1(y).$$

Рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - f_2 \left(\theta, t, y, \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = 0 \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} f_2 \left(\theta, t, y, \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) &= \left(\sum_{k=1}^n b_{1k}(t)y_k + h(\theta, t, y) \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_1} + \\ &+ \left(\sum_{k=1}^n b_{2k}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^n b_{nk}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_n} \end{aligned}$$

Для уравнения (8) характеристическая система имеет вид

$$\frac{dy_1}{dt} = - \left(\sum_{k=1}^n b_{1k}(t)y_k + h(\theta, t, y) \right), \frac{dy_i}{dt} = - \sum_{k=1}^n b_{ik}(t)y_k, \quad i = 2, \dots, n.$$

Общее решение характеристической системы

$$y_i = \theta_i(t, t_0, y_1^0, \dots, y_n^0), i = 1, \dots, n; t \in (t_0, +\infty).$$

разрешимы относительно y_1^0, \dots, y_n^0 , поэтому

$$\theta_i(t_0, t, y) = \theta_i(t_0, t, y_1, \dots, y_n), i = 1, \dots, n.$$

образует интегральный базис уравнения (8), для которого во всей области функциональный определитель

$$\frac{\partial(\theta_1, \dots, \theta_n)}{\partial(y_1, \dots, y_n)} > 0$$

В силу условия М) имеет место неравенство

$$\theta_t \leq H(\theta, t, y, \theta_y) \quad (9)$$

В самом деле,

$$\begin{aligned} \theta_t - H(\theta, t, y, \theta_y) &= \left(\sum_{k=1}^n b_{1k}(t)y_k + h(\theta, t, y) \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_1} + \\ &+ \left(\sum_{k=1}^n b_{2k}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^n b_{nk}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_n} - \\ &- \left(\sum_{k=1}^n p_{1k}(t)y_k + f(\theta, t, \theta, \theta_y) \right) \frac{\partial u}{\partial y_1} - \\ &- \left(\sum_{k=1}^n p_{2k}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_2} - \dots - \left(\sum_{k=1}^n p_{nk}(t)y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_n} = \\ &= \left(\sum_{k=1}^n (b_{1k}(t) - p_{1k}(t))y_k + h(\theta, t, y) - f(\theta, t, \theta, \theta_y) \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_1} + \\ &+ \left(\sum_{k=1}^n (b_{2k}(t) - p_{2k}(t))y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^n (b_{nk}(t) - p_{nk}(t))y_k \right) \frac{\partial \theta}{\partial y_n} \leq 0 \end{aligned}$$

Возьмем $\omega_2(y) \in C^2$ такое, что $\omega_2(y) < \varphi(y)$.

Пусть $\theta(t_0, t, y) = \theta_i(t_0, t, y), i \in \{1, \dots, n\}$ решение уравнения (8) $(\theta, t, y, \theta_y) \in E$ удовлетворяющее условию

$$\theta(t_0, t_0, y) = \omega_2(y).$$

В силу условия А) и так как интегралы $\vartheta(t_0, t, y)$, $\theta(t_0, t, y)$ уравнений (3), (8) с начальными значениями $\vartheta(t_0, t_0, y) = \omega_1(y)$, $\theta(t_0, t_0, y) = \omega_2(y)$ принадлежат на B классу C^1 и удовлетворяют условиям:

- 1) $(\vartheta, t, y, \vartheta_y) \in E$, $(\theta, t, y, \theta_y) \in E$;
- 2) $\vartheta_t > H(u, t, y, \vartheta_y)$, $\theta_t \leq H(\theta, t, y, \theta_y)$ в E ;
- 3) $\omega_1(y) > \varphi(y) > \omega_2(y)$

Следовательно, всюду на B имеет места неравенства

$$\vartheta(t_0, t, y) > u(t, y; t_0, y_0) > \theta(t_0, t, y) \quad (10)$$

В силу условия a_1, b_1, c_1 в В) характеристическая система (4) имеет обобщенный верхний центральный показатель равный $\beta_1 < 0$ и асимптотически устойчива по Ляпунову при $t \rightarrow +\infty$. Откуда вытекает, что

$$\lim_{t_0 \rightarrow +\infty} \vartheta(t_0, t, y) = 0 \quad (11)$$

Линейная однородная система дифференциальных уравнений

$$\frac{dy_i}{dt} = - \sum_{k=1}^n b_{ik}(t)y_k, \quad i = 1, \dots, n.$$

в силу условия a_2, b_2, c_2 в М) имеет обобщенный верхний центральный показатель равный $\mu_1 < 0$ и линейная система асимптотически устойчива по Ляпунову при $t \rightarrow +\infty$. Следовательно, характеристическая система уравнения (8)

$$\frac{dy_1}{dt} = - \left(\sum_{k=1}^n b_{1k}(t)y_k + h(\theta, t, y) \right), \quad \frac{dy_i}{dt} = - \sum_{k=1}^n b_{ik}(t)y_k, \quad i = 2, \dots, n.$$

в силу условия на $h(\theta, t, y)$ имеет асимптотически устойчивое нулевое решение. Отсюда вытекает, что

$$\lim_{t_0 \rightarrow +\infty} \theta(t_0, t, y) = 0 \quad (12)$$

Получаем, что выполняются (10), (11), (12) при $t > t_0$, откуда вытекает $\lim_{t \rightarrow +\infty} u(t, y; t_0, y_0) = 0$.

Теорема доказана.

Литература

1. Nagumo M. Ueber die Ungleichung $du/dy > f(x, y, u, du/dy)$ / M. Nagumo// Japan J. Math., 15 (1939), 51-56 [VI.10].
2. Хартман Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения/ Ф. Хартман. - М.: «Мир», 1970. -720 с.
3. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка/ Э. Камке. – М.: Наука, 1966. – 260 с.
4. Смирнов В.М. Курс высшей математики. Т. 4. Часть вторая. / В.М. Смирнов. – М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 551 с.

К ВОПРОСУ О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ВЫЯВЛЕНИЯ ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ И АЛГОРИТМАХ ИХ МОНИТОРИНГА

Баракнин В.Б.¹, Кучин Я.И.², Мухамедиев Р.И.²

¹Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия,

²Институт информационных и вычислительных технологий

КН МОН РК, Казахстан

e-mail: bar@ict.nsc.ru, ykuchin@mail.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com

***Аннотация.** В работе рассмотрен феномен фейковых новостей, а также их возможные признаки. Сформулированы основные признаки новостей, представляющих интерес с точки зрения медиамониторинга в интересах сохранения социальной стабильности и устойчивого развития государства. Их представление в виде двоичного дерева предлагает алгоритм принятия решений при выявлении фейковых новостей. В заключении приводятся два обширных класса алгоритмов, направленных на выявление фейковых новостей.*

Феномен фейковых новостей подробно проанализирован в работе [1]: «...в современной сфере потребления сформировалось иное направление мистификации, направленное на обман адресата, который может вообще не осознаваться получателем сообщения.

Феноменом современного медиапространства стали так называемые фейковые новости. От сегодняшнего потребителя новостного контента требуется не только умение читать, но и умение анализировать новости: довольно часто сообщения, опубликованные в Сети, даже на сайтах серьёзных медиа, являются неправдой...

Глобальная сеть для современного журналиста является источником информации, достоверность которой далеко не всегда удастся установить. С одной стороны, Интернет подсказывает информационные поводы и помогает найти нужные факты, однако нередко под видом сенсаций в Сети предлагается явная ложь. Мистификация, построенная на введении в заблуждение, может окружать даже вполне обыденные события. Новости о поисках кота Дмитрия Медведева, миллиардном штрафе Samsung, выплаченном пятицентовыми монетами, о платных туалетах в поездах на Украине – только самые известные из последних медиафейков, связанных с событиями в России и соседних странах».

В настоящее время всё большее распространение получают программные средства, предназначенные для мониторинга средств массовой информации, блогов и т.п. с целью выяснения общественного мнения относительно различных институтов государственной власти, должностных лиц, коммерческих организаций, медийных персон и т.п. Одной из наиболее важных проблем в процессе мониторинга является выявление ложной, так называемой фейковой (от англ. fake – фальшивка) информации, распространяемой с целью искажения картины общественного мнения и дискредитации тех или иных учреждений, организаций и отдельных лиц.

Как же создать алгоритмы, которые автоматически выявляли бы фейки в потоке новостей?

Обзор методов выявления лжи в письменном тексте дан в [2], однако в нем речь идет, в основном, о «живой письменной» речи, включая интернет-коммуникации, но не о СМИ. В одном из рассмотренных в обзоре исследований отмечено, что «лжецы продуцируют более длинные тексты, используют больше слов, связанных с каналами восприятия (видеть, слышать), используют меньше местоимений для самореференций, больше — для наименования других людей. Кроме того, мотивированные лжецы избегали каузаций, а немотивированные употребляли много отрицаний».

В статье [1] отмечен аналогичный признак фейков: «С достаточной уверенностью можно назвать лексические маркеры фейков, общие для рекламы и СМИ: «вы будете поражены», «под угрозой исчезновения», «мировое открытие», «нечто страшное», «будоражит умы» – вот только некоторые заголовки тизеров из Martketgid».

Наконец, при работе с корпусом русских письменных текстов [3, 4], специально предназначенном для исследования языковых особенностей текстов на русском языке, содержащим намеренно искаженную информацию, выявлено, что модели обнаружения лжи в тексте могут быть значительно улучшены путем рассмотрения личностных характеристик их авторов (пол, возраст, психологический профиль).

Однако профессионально созданные фейки, имитирующие стиль СМИ, совершенно лишены эмоциональных, личностных и т.п. характеристик. Примером этого является портал «ИА «Панорама»» [5], специализирующийся на фейковых новостях. Хотя портал не скрывает такой специализации, но нередки случаи, когда после 1-2 перепечаток фейковые новости, порожденные «Панорамой»,

распространялись вполне серьезными СМИ. Причина заключается в том, что фейки «Панорамы» абсолютно точно имитируют стиль новостных агентств. Например:

***«Центробанк выпустит купюры с изображением игроков сборной России
Июнь 16, 2018***

Руководство Центробанка решило поддержать игроков сборной России по футболу, триумфально стартовавшей на чемпионате мира. Лица футболистов будут запечатлены на банкнотах разного номинала, а тренер Станислав Черчесов удостоился чести появиться на пятитысячной купюре — сообщает пресс-служба ведомства.

«Хочется сделать приятное ребятам. Обрадовали даже меня, хотя я не большая поклонница футбола, но за державу радостно. Очень редко у нас что-нибудь хорошее получается. Надо бы ребят поощрить. Напечатаем их портреты на деньгах, и они увидят, как ими все гордятся и после этого ещё когда-нибудь победят. Кроме того, ребята хоть на рубли посмотрят, а то некоторые удивляются, что есть такая купюра 200 рублей», — заявила глава ЦБ Эльвира Набиуллина...

Фейковость этой новости очевидна любому сколько-нибудь искушенному читателю, но даже подробный семантический анализ вряд ли выявил ее фейковость, поскольку для этого требуется, чтобы соответствующие алгоритмы опирались на подробнейшую онтологию, учитывающую множество российских общественно-политических реалий, что практически не формализуемо.

При этом в [2] подчеркивается: «При выборе характеристик текста, способных быть маркерами лжи, необходимо в первую очередь опираться на те, которые могут быть извлечены из текста автоматически. На настоящий момент самыми надежными являются морфологические парсеры, определенную точность дают синтаксические парсеры. Семантические анализаторы к настоящему времени дают очень много ошибок и были исключены из исследования».

Как же следует подходить к решению задачи автоматического выявления фейковых новостей? Для конструктивного ответа на этот вопрос необходимо, прежде всего, уточнить определение фейковой новости настолько формально, насколько это необходимо для алгоритмизации этого процесса. Конечно, вряд ли существует некая «абсолютная» точка зрения, с которой можно было бы дать сколько-нибудь универсальное определение фейковой (ложной) новости, ибо существование некой точки зрения фактически означало наличие универсального критерия истинности/ложности информации. Поэтому цель приведенного ниже анализа – уточнить понятие фейковой новости применительно к задачам создания информационных систем медиамониторинга в интересах сохранения социальной стабильности и устойчивого развития государства.

В [1] отмечено: «...новые задачи создания фейковых новостей связаны с социальной рекламой – привлечь внимание к определенному событию, воздействовать на общественное мнение». Эти цели нередко преследуют непроверенные новости, которые призваны дискредитировать тех или иных

политических деятелей, государственные или общественные институты и т.п. В частности, так как согласно статье 77 Конституции Республики Казахстан «лицо считается невиновным в совершении преступления, пока его виновность не будет признана вступившим в законную силу приговором суда», то к фейковым новостям могут быть отнесены все новости, содержащие не подкрепленные вступившим в силу приговором суда обвинения тех или иных лиц в совершении преступлений.

При этом важно отметить следующий момент. В Рекомендациях по распознаванию фейковых новостей Международной Федерации библиотечных ассоциаций и учреждений (International Federation of Library Associations; ИФЛА) [6] сатирические новости отделяют от фейковых новостей. В других публикациях, например, [7], сатиру и пародию, хоть и включают в число фейковых новостей, но выделяют в особый класс. В рамках решения поставленной задачи так поступать нецелесообразно: если некий сайт, например, упомянутая выше «Панорама», генерирует заведомо пародийные новости или же на серьезном сайте текст включен в раздел «Сатира», то такие новости нередко (по глупости или злонамеренно) цитируются как настоящие. При этом после повторного цитирования невозможно быстро установить первоисточник, что еще более затрудняет процесс установления фейковости. При этом преподнесение пародийной или сатирической новости как серьезной достигает главную цель: дискредитацию тех или иных политических деятелей, государственных или общественных институтов.

Опишем признаки новостей, представляющих интерес с точки зрения пользователей информационных системы медиамониторинга в интересах сохранения социальной стабильности и устойчивого развития государства.

Во-первых, сразу отбросим новости **нерезонансные**, которые публикуются на ресурсах с малым медиа-охватом или же имеющие за определенный интервал времени малое количество репостов. Очевидно, такие новости не могут оказать серьезное влияние на социальную стабильность.

Во-вторых, **резонансные** новости проверяем на **социальную значимость**, ориентируясь, прежде всего, на тематику новости, поскольку новости с малозначительной тематикой также слабо влияют на социальную стабильность, независимо от их прочих характеристик.

В-третьих, если новость **социально значимая**, то проверяем ее **достоверность** (фактически определяем, является ли новость фейковой). Это – наиболее сложная часть процесса принятия решений, который изображен на рис.1. Если новость **недостоверная (фейковая)**, то мы относим ее к классу представляющих интерес с точки зрения пользователей информационных системы медиамониторинга в интересах сохранения социальной стабильности.

Наконец, в-четвертых, даже формально **достоверная** новость, но несущая признаки **необъективности** (неоправданно высокая степень генерализации, излишняя эмоциональность, политизированность и т.п.) **также будет отнесена к классу представляющих интерес с точки зрения пользователей информационных системы медиамониторинга.**



Рис.1. Алгоритм процесса принятия решений

Итак, выявление фейковых новостей является с точки зрения обеспечения интересов национальной безопасности наиболее важной задачей. Для ее решения можно рассмотреть 2 класса алгоритмов:

1. Алгоритмы, призванные выявлять фейковые новости на стадии зарождения. Для этого требуется семантический анализ текстов на предмет выявления фейковых «фактов», при этом для описания таких «фактов» в соответствии с [8] требуется создание онтологии, содержащей, с одной стороны, список лиц (персональный и должностной) и государственных институтов, диффамация которых представляет угрозу национальной безопасности, а, с другой, - перечень деяний (преступлений, правонарушений, неэтичных поступков и т.п.), приписыванием которых могут быть диффамированы указанные лица и государственные институты.

2. Алгоритмы, призванные выявлять распространение фейковых новостей. Эта задача несколько проще предыдущей, так как соответствующая онтология будет содержать конкретные фейковые факты, запущенные в информационное пространство для диффамации названные выше лица и государственные институты.

Практическая реализация указанных алгоритмов возможна в рамках разработанных нами моделей документального и фактографического поиска (см.[8]).

Благодарности

Работа финансируется грантом № BR05236839 «Разработка информационных технологий и систем для стимулирования устойчивого развития личности как одна из основ развития цифрового Казахстана».

Литература

1. Иссерс О.С. Медиафейки: между правдой и мистификацией // Коммуникативные исследования. 2014. № 2. С. 112-123.
2. Литвинова Т.А., Середин П.В. Поиск признаков лжи в письменном тексте: современные методы и подходы // В мире науки и искусства: вопросы филологии, искусствоведения и культурологии: сб. ст. по матер. XXIV междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2013. С. 126-133.
3. Litvinova O., Litvinova T., Seredin P., Lyell J. Deception Detection in Russian Texts // Proceedings of the Student Research Workshop at the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Valencia, Spain, April 3-7. P. 43–52.
4. Корпус Russian Deception Bank. - <http://rusprofilinglab.ru/korpusyitekstov/korpus-russian-deception-bank/>
5. ИА «Панорама». - <https://panorama.pub>
6. How to spot fake news published. <http://blogs.ifla.org/lpa/files/2017/01/How-to-Spot-Fake-News-1.jpg>
7. Tandoc Jr. E., Zheng Wei Lim, Ling R. Defining “Fake News”// Digital Journalism, 2018, 6:2, 137-153, DOI: 10.1080/21670811.2017.1360143
8. Барахнин В.Б., Федотов А.М. Модели документального и фактографического поиска для интеллектуальных информационных систем // Cloud of Science. – 2014. – Т. 1. – № 4 – С. 528-548.

УДК 681.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Вуйцик^{1,2} В., Амиргалиева² С.Н., Калижанова^{2,3} А.У.,
Кашаганова^{2,4} Г.Б., Кисала^{1,2} П., Муратханова² Т.,
Оразбеков^{2,5} Ж., Ахметов^{2,3} С.С.

¹Люблинский технический университет, Польша

²Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,
Казахстан

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан

⁴Казахстанско-Американский университет, Казахстан

⁵Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан
waldemar.wojcik@pollub.pl, saltanat_amirgal@mail.ru, kalizhanova_aliya@mail.ru,
guljan_k70@mail.ru, muratkhanovat@mail.ru, p.kisala@pollub.pl, o.jas@mail.ru,
as_sultan@mail.ru

Аннотация. В настоящее время существует множество технических устройств, отказ которых может быть связан не только с огромными финансовыми потерями, но и с угрозой окружающей природной среде. Поэтому важной проблемой является эффективная диагностика состояния, в том числе электронных компонентов и проверки их условий работы. Раннее выявление ошибки позволяет ввести профилактические меры и избежать серьезных последствий.

Волоконно-оптические датчики (ВОД) имеют ряд преимуществ, наиболее важные из которых включают в себя иммунитет к электромагнитным помехам, малый вес и возможность их включения в измеряемую структуру. Наиболее перспективными ВОД являются датчики на основе волоконных решетках Брэгга (ВРБ). ВРБ имеет ряд особых преимуществ, например, они позволяют создавать распределенные измерительные массивы, которые содержат несколько датчиков. А также они нечувствительны к колебаниям оптического источника питания. Разнообразие применения волоконных датчиков на основе ВРБ привели к изготовлению ВРБ с различными спектральными характеристиками. Однородные ВРБ имеют спектры с сильными боковыми лепестками, которые могут влиять на характеристики обработки температурного датчика. Для сглаживания боковых лепестков используют метод аподизации, который является одним из способов воздействия на спектральную форму.

В статье рассмотрены вопросы математического и компьютерного моделирования ВРБ с использованием метода матриц переноса. Метод матриц переноса позволяет определить спектральную характеристику оптических компонентов на основе теории связанных мод и матричного описания электромагнитной волны, проходящей через оптическое волокно. Проанализированы ВРБ с различной длиной в соответствии со спектральными характеристиками таких, как спектр пропускания и отражения. А также проведен эксперимент с влиянием различных параметров на спектральные характеристики ВРБ. Исследованы спектральные характеристики ВРБ и выбраны оптимальные параметры решетки для разработки волоконно-оптических датчиков на основе ВРБ.

Ключевые слова: волоконные решетки Брэгга, волоконно-оптические датчики, температура, математическое моделирование, аподизация.

Введение

В настоящее время существует множество технических устройств, отказ которых может быть связан не только с огромными финансовыми потерями, но и с угрозой окружающей природной среде. Поэтому важной проблемой является эффективная диагностика состояния, в том числе электронных компонентов и проверки их условий работы. Раннее выявление ошибки позволяет ввести профилактические меры и избежать серьезных последствий.

Измерительные системы на основе оптоэлектронных систем находят применение в диагностике машин и процессов [1]. Особое место занимают датчики оптического волокна, которые характеризуются рядом преимуществ, среди которых

наиболее важными являются иммунитет к электромагнитным помехам, низкая масса и возможность их встраивания в измеряемую структуру [2]. В случае сенсорных систем на основе волоконных решеток Брэгга важными преимуществами являются независимость точности измерения от флуктуации источника света и возможность создания более сложных измерительных систем путем размещения нескольких датчиков на одном оптическом волокне. Волоконные решетки Брэгга в чувствительных приложениях пользуются неослабевающим интересом со стороны ученых во всем мире в течение многих лет. Их основным свойством является способность отражать световое излучение с четко определенной длиной волны, с одновременной прозрачностью для света с разными длинами волн [3], [4].

Основываясь на определении смещения относительной центральной длины волны, флуктуации оптической мощности источника света не влияют на его точность. Существует много методов определения длины волны Брэгга, также позволяющее ее определение на основе спектров, содержащих сильный шум [5], [6]. Линейная обработка измеренной величины при передаче сдвига характерной длины волны, называемой центральной длиной волны Брэгга, делает их естественными преобразователями физических величин таких, как сила [7-9], температура или деформации [10], [11].

Параметр, который оказывает определенное влияние на форму решеточного спектра Брэгга, является аподизация. В простейшем случае мы различаем однородные решетки, в которых глубина модуляции коэффициента разрушения интерференционных полос одинакова по всей длине структуры. Множество конкретных применений волоконно-оптических однородных структур вынуждало внедрение аподизированной функции в их методы производства, что приводило к переменной глубине модуляции показателя преломления решеточных полос.

Одним из наиболее часто используемых методов опроса температурного датчика на основе волоконных решеток Брэгга является фильтрация с помощью второй решетки с той же центральной длиной волны, созданной в идентичных начальных условиях [12]. В такой системе важным параметром, обуславливающим полезность данной периодической структуры, является минимизация так называемых боковых лепестков [13]. Одним из способов достижения этого эффекта является аподизация путем изменения глубины модуляции изменений показателя преломления в ядре оптического волокна вдоль его оси. Производство периодических структур с любыми функциями аподизации часто связано с необходимостью перестроить систему, и поэтому возможность использования математических моделей для имитации спектра решетки с указанной аподизацией оправдана.

Математическая модель аппроксимированных решеток Брэгга

Одним из методов моделирования является метод матрицы переноса (ТММ), называемый Transfer Matrix Method [14], который позволяет определять спектральные характеристики оптических элементов на основе теории связанных мод и матричного описания электромагнитной волны, которая проходит через последующие периоды оптического волокна [15].

В этом подходе мы предполагаем, что вся длина решетки L делится на точно определенное число секций N , так что каждый отрезок, созданный таким образом с длиной $\Delta z = L/N$, можно рассматривать как однородный. Матрица перехода, описывающая i -й раздел, будет определяться [16]:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \otimes z) - \frac{\sigma}{\gamma} \sinh(\gamma \otimes z) & -i \frac{k}{\gamma} \sin(\gamma \otimes z) \\ i \frac{k}{\gamma} \sin(\gamma \otimes z) & \cosh(\gamma \otimes z) - \frac{\sigma}{\gamma} \sinh(\gamma \otimes z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для указанного выше определения также предполагается, что k - переменная составляющая коэффициента связи для контрастности показателя преломления $v=1$, анализируемая длина волны λ и предполагаемая функция аподизации $g(z)$:

$$k = \frac{\Pi}{\lambda} \cdot v \cdot \hat{\sigma}_{eff}(z) \quad (2)$$

$$\bar{\delta}_{eff}(z) = \delta_{eff} \cdot g(z) \quad (3)$$

Во время моделирования решетки Брэгга значение компонента переменного коэффициента связи k зависит от выбора огибающей функции показателя преломления (2). Полный коэффициент связи определяется уравнением (4). Известно также, что λ_B - длина волны Брэгга, а n_{eff} - эффективный показатель преломления.

$$\hat{\sigma} = \delta + \sigma - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \quad (4)$$

$$\delta = 2\Pi n_{eff} \left(\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\lambda_B} \right) \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{2k}{v} \quad (6)$$

Параметр γ для матрицы перехода определяется следующим образом:

$$\gamma = \sqrt{k^2 + \hat{\sigma}^2} \quad (7)$$

Характеристики всей решетки можно описать

$$\begin{bmatrix} R_0 \\ S_0 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} R_N \\ S_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T = [T_N] \cdot [T_{N-1}] \cdot \dots \cdot [T_3] \cdot [T_2] \cdot [T_1] \quad (9)$$

Значения матричных параметров T могут использоваться для определения характеристик как отраженной (10), так и переданной (11) волн. Затем индексированные элементы T_{ij} указывают значения элементов под i -м столбцом и j -й строки матрицы перехода.

$$R = \frac{T_{21}}{T_{11}} \quad (10)$$

$$S = \frac{1}{T_{11}} \quad (11)$$

Моделирование спектральных характеристик с использованием оригинального приложения моделирования

Понимание характеристик и основных параметров волоконных решеток Брэгга возможно без необходимости их изготовления. Однако для этого необходимы инструменты моделирования. Используя их, можно свести к минимуму риск создания аномальной решетки, а также скорректировать ее на целевое приложение достаточно рано. Правильный выбор функции аподизации позволяет дополнительно оптимизировать характеристики решетки с учетом ее целевого сайта приложения, например, в качестве оптического фильтра или измерительного датчика [17].

Собственный инструмент моделирования, основанный на математической модели ТММ, использовался для моделирования изменения спектра передачи для разных длин решетки Брэгга.

С этой целью была использована решетка длиной волны Брэгга 1550 нм с эффективным показателем преломления 1,447. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

Легальность используемого инструмента была подтверждена дополнительными симуляциями для разных брэгговских длин волн (1546 нм, 1550 нм). Результаты наблюдений были помещены на последовательные графики, рисунок 2.

Представленные возможности являются лишь частью доступных параметров моделирования. Можно определить функцию аподизирования, используемую при записи решеток Брэгга. Однако эта тема будет обсуждаться более подробно в одном из следующих подразделов этой статьи.

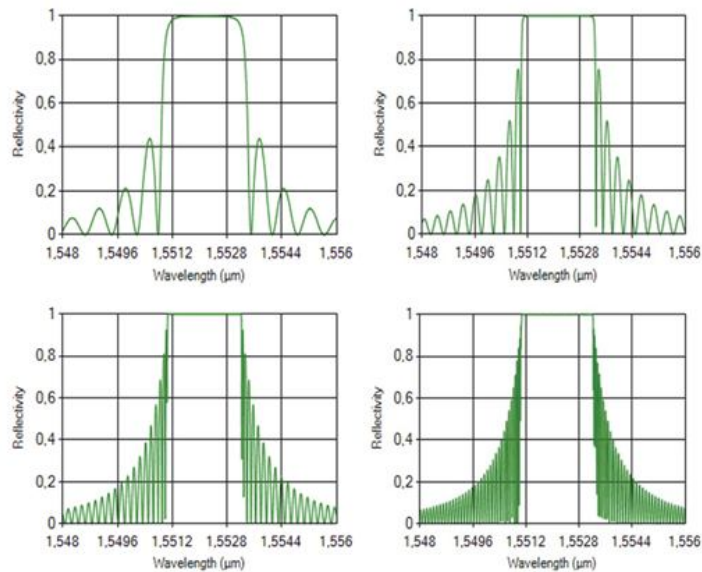


Рис.1. Характеристики спектра пропускания для разных длин волны Брэгга (1 мм, 2 мм, 4 мм, 8 мм)

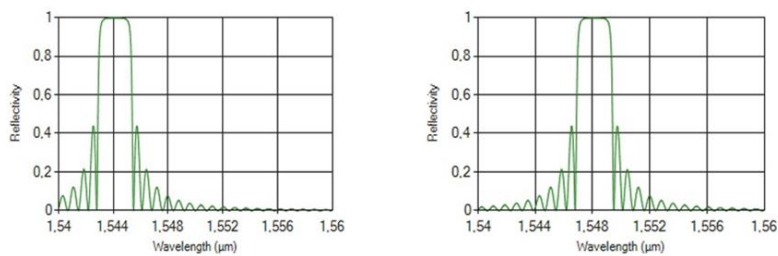


Рис. 2. Спектр пропускание для разных длин волн Брэгга (1546 нм, 1550 нм)

Измерения реальных характеристик

Измерения фактических температурных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга проводились с использованием климатической камеры и решетки Брэгга, производимых в строго определенных условиях. На рисунке 3 показана схематическая система для изготовления периодических волоконно-оптических структур с использованием фазовой маски. В этом типе системы сильный луч излучения в ультрафиолетовой области направлен на эллиптическую линзу, фокусирующую свет в одной плоскости. Пучок уплотненного излучения проходит через фазовую маску, в которой создается структура интерференции, которая обеспечивает образование интерференционных полос на поверхности облучаемого оптического волокна.

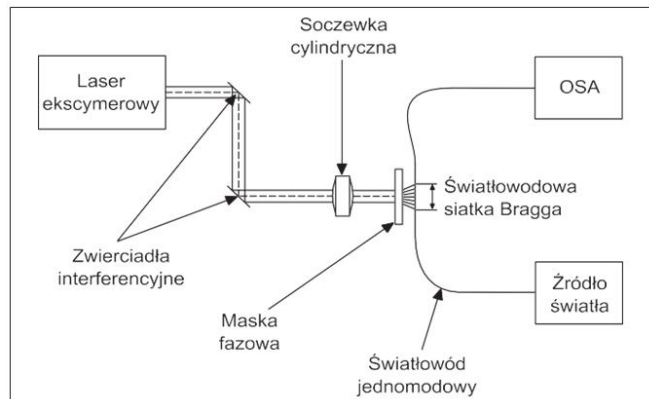


Рис. 3. Схема установки для изготовления периодических структур в оптических волокнах с использованием метода фазовой маски

Интерференционные струны, которые попадают в отдельные фрагменты оптического волокна, приводят к периодическому изменению показателя преломления внутри ядра, который создает брэгговское зеркало. Следует отметить, что чем выше концентрация энергии в одной полосе, созданной интерференционной картиной фазовой маски, тем глубже модуляция показателя преломления, вызванная облучением оптического волокна в периодической структуре. В случае создания решеток Брэгга с использованием периодической фазовой маски решеточная аподизация определяется распределением интенсивности пучка, генерируемым эксимерным лазером в продольной оси относительно оси сердцевины оптического волокна, в котором изготовлена решетка.

График на рисунке 4 иллюстрирует профиль поперечного сечения лазерного луча, используемого для создания решетки Брэгга. Профилемер, используемый для измерения интенсивности излучения вдоль выбранной оси с шагом 1 мкм. Предполагая, что лазерный луч имеет ширину 8 мм, его профиль был определен в 8000 точек измерения.

На основе измеренного профиля лазерного луча аппроксимирующую функцию определяли с использованием инструментов пакета MatLab. В процессе анализа было решено, что регулировка функции гауссовой кривой в виде:

$$f = a \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right) \quad (12)$$

где: $a = 0,9787$; $b = -551,7$; $c = 1960$.

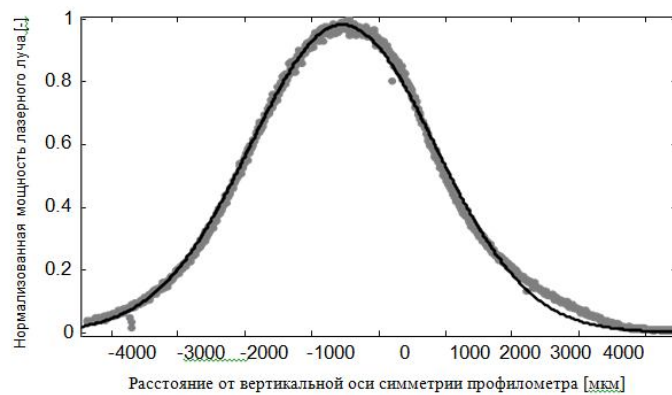


Рис. 5. Профиль лазерного луча с приближением гауссовой кривой

Регулировка кривой Гаусса с указанными выше коэффициентами позволила получить хорошие статистические параметры (коэффициент определения $R^2 = 0,9964$ и элемент ошибки квадратного корня RMSE, равный $0,0204$). На рисунке 5 показан фактический ход профиля лазерного луча и кривая аппроксимации с параметрами, выраженными формулой (12).

Математическая и физическая модель оптической системы

Моделирование оптических систем с использованием компьютерных инструментов, основанных на математических моделях, может оказаться очень полезным, но стоит осознать, что машинный язык не в состоянии полностью отразить физическую оптическую систему и все преобладающие физические явления. В этой части статьи сравниваются моделируемые характеристики с реальным спектром отражения. Было выяснено, насколько имитируемый объект может отличаться от фактической системы.

В рамках эксперимента решетка Брэгга была создана в системе, подобной той, что показана на рисунке 3. Была использована однородная фазовая маска с постоянным периодом по всей ее длине. Лазер с профилем пучка, вводящим аподизацию с функцией, определяемой формулой (12), использовался для сжигания периодической структуры в ядре оптического волокна. На рисунке 6 отраженный спектр измеряли с использованием анализатора спектра с разрешением $0,02$ нм.

В случае математической модели в качестве входных данных для инструмента моделирования были введены аналогичные параметры решетки (была учтена ранее заданная функция аподизирования). Результаты этого моделирования представлены на рисунке 7.

Сравнение спектра, показанного на рисунке 6, и характеристик моделирования, показанных на рисунке 7, ясно показывает совместимость характера решетки Брэгга с моделью, используемой в приложении. Обе характеристики согласуются с тем, что использование аподизации с профилем, согласующимся с

кривой Гаусса с соответствующим образом выбранными параметрами, приводит к исчезновению боковых лепестков, характерных для однородных ВРБ.

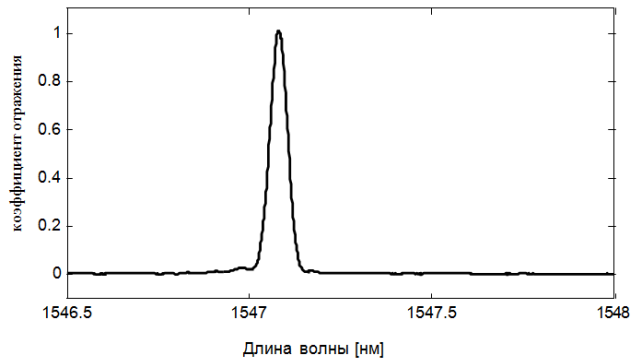


Рис. 6. Спектр отражения реальной оптической системы

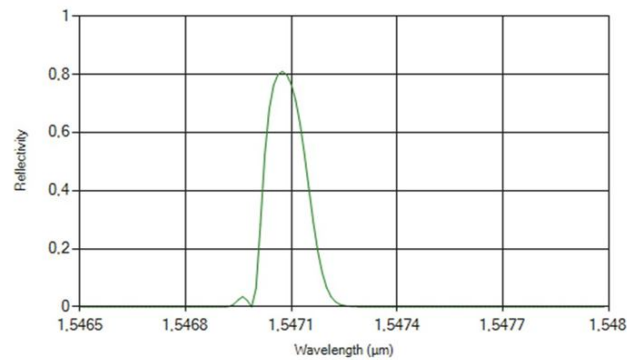


Рис. 7. Имитированный спектр отражения решетки аподизации
в соответствии с профилем лазерного луча

Характеристики обработки температурного датчика

Измерения для определения температурной чувствительности датчика на основе ВРБ основаны на определении длины волны Брэгга на основе спектральных характеристик, измеренных в диапазоне разных температур. Наиболее часто используемый метод определения центральной длины волны - это поиск экстремума (минимум для спектра пропускания или максимум для спектра отражения). Рисунок 8. показывает схему измерительной системы, в которой климатическая камера использовалась для установки температуры. Во время измерений относительная влажность поддерживалась постоянной на уровне 30%.

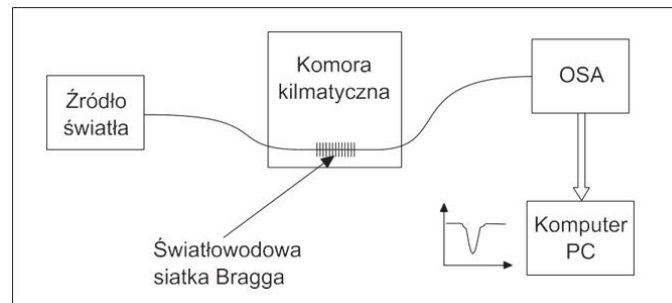


Рис. 8. Системная диаграмма для определения характеристик обработки

На рисунке 9 график показывает характеристики обработки тестируемого температурного датчика вместе с линией линейной регрессии, полученной на основе точек измерения.

Коэффициент линейной корреляции, полученный для точек характеристики в измеренном диапазоне температур, равен $r = 0,9997$ и стандартное отклонение $s = 0,473$. Эти параметры показывают, что характер изменения температуры изменяется на изменение длины волны Брэгга, является линейным. Чувствительность системы, понимаемая как величина смещения центральной длины волны до 1 градуса Цельсия, может быть выражена как отношение разницы в длине волны Брэгга при измеренных температурах на разность этих температур:

$$\frac{\otimes \lambda_B}{\otimes T} = \frac{\lambda_{T_1} - \lambda_{T_2}}{T_1 - T_2} \quad (13)$$

Чувствительность S испытываемого датчика определяется таким образом

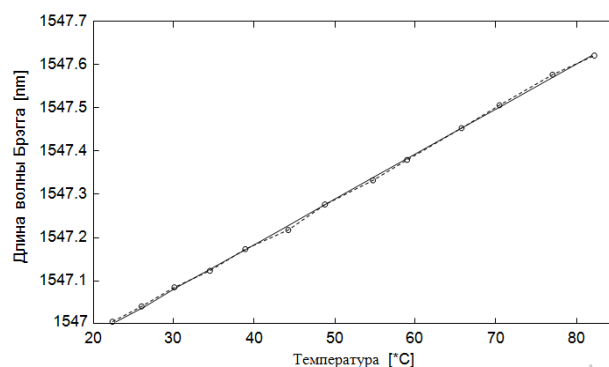


Рис. 9. Характеристики обработки температурного датчика

Заключение

Волоконно-оптические датчики физических величин занимают важное место в области датчиков из-за ряда преимуществ, которые отличают их от электронных аналогов. Особым типом является датчик на основе волоконно-оптических решеток Брэгга, который помимо стандартных функций, характеризующих оптоволоконные датчики, также позволяет мультиплексировать, что создает широкую сеть, состоящую из десятков датчиков, размещенных в одном оптическом волокне.

Множество приложений для ВРБ вынуждало необходимость влиять на природу оптического спектра решетки. При измерениях температуры критерий отбора часто заключается в наиболее эффективном сокращении так называемого боковые лепестки, присутствие которых может сильно влиять на характеристики датчика, особенно при использовании фильтрующей системы опроса. Одним из способов устранения неблагоприятных особенностей спектра является аподизация, обычно включающая модуляцию глубины изменений показателя преломления вдоль структуры. Использование математической модели, учитывающей аподизирующую функцию и создание собственного симуляционного приложения, позволяет предсказать влияние изменений параметров аподизации на выходной спектр. Примеры показывают влияние выбранных входных параметров моделирования на форму выходной характеристики.

Качество модели, используемой в симуляциях, было проверено путем сравнения характеристик, измеренных для реальной решетки Брэгга, с аподизацией, передаваемой профилем лазерного луча, в результирующий результат моделирования для введенной функции аподизации, соответствующей распределению энергии лазерного луча. Обе характеристики показывают явное подавление боковых лепестков, добавляя гауссовский характер спектра основного пика.

Волоконная решетка Брэгга, используемая в качестве температурного датчика, обеспечивает линейную характеристику измеряемой величины для сдвига центральной длины волны сетки. Эксперимент, выполненный для сформированной решетки, позволил определить его температурную чувствительность, который составляет $10,37\text{ч}/^\circ\text{C}$. Был подтвержден линейный характер обработки температуры для смещения длины волны Брэгга, о чем свидетельствуют отмеченные характеристики статистических параметров.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях Оптоэлектроники факультета электротехники и компьютерных наук Люблинского технического университета в рамках проекта ГФ №АР05132778 «Исследование и разработка системы интеррогации сигналов с оптоволоконным рефрактометром с использованием телекоммуникационных сетей» ИИВТ КН МОН РК.

Список литературы

1. Kotyra, A. Optoelektroniczne systemy w zastosowaniach diagnostycznych i pomiarowych. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 4(2), 2014, P. 9-10.
2. Pereira, G., McGugan M., Mikkelsen L.P., Method for independent strain and temperature measurement in polymeric tensile test specimen using embedded FBG sensors. Polymer Testing, 50, 2016, P. 125-134.
3. Kashyap, R. Fiber Bragg Gratings. San Diego: Academic Press. Kenneth O., Meltz G., Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview. Journal of Lightwave Technology, 15(8), 1999, 1263-1276.
4. Kenneth O., Meltz G., Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview. Journal of Lightwave Technology, 15(8), 1997, P.1263-1276.
5. Chen, Y., Chen, L., Liu, H., Wang, K. Research of FBG sensor signal wavelength demodulation based on improved wavelet transform. Optic, 124, 2013, P/4802-4804.
6. Negri, L., Nied, A., Kalinowski, H., Paterno, A. . Benchmark for Peak Detection Algorithms in Fiber Bragg Grating Interrogation and a New Neural Network for its Performance Improvement. Sensors, 11, 2011, P. 3466-3482.
7. Ciężczyk, S., Kisała, P., Inverse problem of determining periodic surface profile oscillation defects of steel materials with a fiber Bragg grating sensor. Appl. Opt. 55, 2016, P. 1412-1420
8. Harasim, D., Gulbakhar, Y. Improvement of FBG peak wavelength demodulation using digital signal processing algorithms. In: Proc. SPIE 9662, 966212, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High-Energy Physics Experiments 2015.
9. Kisała, P., Ciężczyk, S. Method of simultaneous measurement of two direction force and temperature using FBG sensor head. Applied Optics 54(10), 2015, P. 2677-2687.
10. Kisała, P. Method of simultaneous measurement of bending forces and temperature using Bragg gratings. In: Proc. SPIE 9506, Optical Sensors 2015.
11. Majumder, M., Gangopadhyay, T. K., Chakraborty, A. K., Dasgupta, K., Bhattacharya, D. K. Fiber Bragg gratings in structural health monitoring – present status and applications. Sensors and Actuators, 147, 2008, 150- 164.
12. Harasim. D., Kisała, P. Układy przesłuchujące multipleksowane światłowodowe czujniki Bragga. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 5(4), 2015, P. 77-84.
13. Abdulina, S. R., Vlasov, A. A. Suppression of side lobes in the fiber Bragg grating reflection spectrum. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 50(1), 2014, P. 75-86.
14. Demirdag, O., Yildirim, B. Comparing transfer matrix method and ANFIS in free vibration analysis of Timoshenko columns with attachments. Res. Eng. Struct. Mat., 2016,2, P.1-18.

15. Khalid, K. S., Zafrullah, M., Bilal, S. M., Mirza, M. A. Simulation and analysis of Gaussian apodized fibr Bragg grating strain sensor. Journal of Optical Technology, 7(10), 2012, P. 667-673.

16. Wójcik, W., Kisała, P. Metoda wyznaczania funkcji apodyzacji światłowodowych siatek Bragga na podstawie ich charakterystyk widmowych. Przegląd Elektrotechniczny, 86(10), 2010, P. 127-130.

17. Wójcik, W., Kisała, P. The application of inverse analysis in strain distribution recovery using the fibre Bragg grating sensors. Metrology and Measurement Systems, 16(4), 2009, P. 649-660.

АБСОЛЮТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОГРАММНОГО МНОГООБРАЗИЯ ОСНОВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С РАЗРЫВНЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ

Жуматов С.С.

Институт математики и математического моделирования

КН МОН РК, Казахстан

e-mail: sailau.math@mail.ru

Аннотация. Исследуются условия абсолютной устойчивости программного многообразия систем прямого управления с разрывными нелинейностями. С помощью построения функции Ляпунова получены достаточные условия абсолютной устойчивости программного многообразия основной системы управления относительно заданной вектор-функции. Полученные результаты были использованы для решения задач синтеза, т.е. установлены условия быстрой действия регулятора систем с разрывными нелинейностями.

Рассмотрим задачу построения устойчивых систем автоматического управления по заданному программному многообразию $\Omega(t) \equiv \omega(t, x) = 0$ [1]:

$$\dot{x} = f(t, x) - B\xi, \quad \xi = \varphi(\sigma), \quad \sigma = P^T \omega, \quad t \in I = [0, \infty), \quad (1)$$

где $x \in R^n$ - вектор состояния объекта, $f \in R^n$ - вектор-функция, удовлетворяющая условиям существования решения $x = x(t)$, $B \in R^{n \times r}$, $P \in R^{s \times r}$ постоянные матрицы, $\omega \in R^s$ ($s \leq n$) - вектор, $\xi \in R^r$ - разрывная вектор-функция управления по отклонению от заданного многообразия имеющая лишь изолированные точки разрыва, для которых существуют конечные верхний и нижний пределы

$$\overline{\lim}_{\sigma \rightarrow \sigma_0} \varphi(\sigma) = \varphi_+(\sigma_0), \quad \underline{\lim}_{\sigma \rightarrow \sigma_0} \varphi(\sigma) = \varphi_-(\sigma_0) \quad (2)$$

и выполняются условия

$$\varphi_-[\sigma(t)] \leq \varphi[\sigma(t)] \leq \varphi_+[\sigma(t)], \quad (3)$$

где

$$k_1 = \varphi_-(\sigma_0) = \inf_i \varphi_-(\sigma_{i0}), \quad k_2 = \varphi_+(\sigma_0) = \sup_i \varphi_+(\sigma_{i0}) \quad i = 1, \dots, r.$$

Определение 1. Абсолютная непрерывная вектор-функция $x(t)$ называется решением системы (1), (2), если существует суммируемая на каждом интервале функция $\varphi[\sigma(t)]$ такая, что повсюду выполнены соотношения (1) и (3).

Принимая во внимание, что многообразие $\Omega(t)$ является интегральным для системы (1), составим необходимое и достаточное условие ее интегральности, проинтегрировав многообразие по времени t в силу системы (1) и предполагая, что функция Еругина [2] $F = -A\omega$, $-A(s \times s)$ - гурвицева матрица, получим

$$\dot{\omega} = -A\omega - HB\xi, \quad \xi = \varphi(\sigma), \quad \sigma = P^T \omega, \quad H = \frac{\partial \omega}{\partial x}. \quad (4)$$

нелинейная вектор-функция $\varphi(\sigma)$ удовлетворяет условиям

$$\varphi^T \theta (\sigma - K^{-1} \varphi) > 0, \quad \theta = \text{diag} \|\theta_1, \dots, \theta_r\|, \quad K = K^T > 0, \quad K = k_2 - k_1. \quad (5)$$

Здесь следует отметить, что функция Еругина обладает свойством $F(t, x, 0) \equiv 0$.

Известно [2 3. 4], задача построения систем по заданному многообразию решается неоднозначно. Поэтому необходимо наложить дополнительные условия на параметры системы. Одним из таких является условия устойчивости. Тогда задача построения систем уравнений, для которых интегральное многообразие, обладает свойством устойчивости, сводится к выбору таких функций Еругина, для которых решения системы является устойчивым относительно некоторых показателей переходного процесса.

Постановка задачи 1. Получить условие абсолютной устойчивости программного многообразия $\Omega(t)$ основной системы управления с разрывными нелинейностями относительно вектор-функции ω .

Если $\sigma(t) \equiv \sigma_0$ на интервале $[t_1, t_2]$, где σ_0 - точка разрыва функции $\varphi(\sigma)$, то говорят, что на $[t_1, t_2]$ имеет место скользящий режим.

Построению систем уравнений по заданному многообразию, обладающих свойствами устойчивости, оптимальности и установлению оценок качества

показателей переходного процесса в окрестности программного многообразия, при $s < n$ посвящены множество работ [1 -17]. Обзор этих работ приведён в [4, 5, 15, 16].

Вопросы устойчивости, неустойчивости и автоколебательности относительно нулевого и неединственного положения равновесия исследованы в работах [6 - 9]. В данной работе с помощью построения функций Ляпунова исследуются условия абсолютной устойчивости систем управлений с разрывными нелинейностями в окрестности заданного многообразия.

Приведем необходимые определения.

Определение 1. Программное многообразие $\Omega(t)$ называется абсолютно устойчивым, если оно устойчиво в целом на решениях уравнения (1) при любой $\omega(t_0, x_0)$ и разрывной функции, удовлетворяющей условиям (2 - 5).

Определение 2 [7]. Дополненным графиком разрывной функции $\varphi(\sigma)$ называется замкнутое множество на плоскости $\{\sigma, \xi\}$, состоящее из точек $[\sigma, \varphi(\sigma)]$, где σ - точка непрерывности функции $\varphi(\sigma)$ и из всех вертикальных отрезков с концами $[\sigma_0, \varphi_-(\sigma_0)]$, $[\sigma_0, \varphi_+(\sigma_0)]$, где σ_0 - точки разрыва функции $\varphi(\sigma)$. Если программное многообразие является интегральной для системы на $[t_1, t_2]$, то точка $[\sigma(t), \xi(t)]$ при $t_1 \leq t \leq t_2$ принадлежит дополненному графику функции $\varphi(\sigma)$.

Обозначим через $S[k_1, k_2]$ замкнутый сектор на плоскости $\{\sigma, \xi\}$, состоящий из точек $[\sigma, \varphi(\sigma)]$.

Система имеет единственное положение равновесие $x = \sigma = 0$ тогда и только тогда, когда

$$\det \|A + NBhP^T\| \neq 0 \quad \forall h \in (0, K).$$

Абсолютная устойчивость программного многообразия основной системы управления. Возьмем две сферы

$$\|z(t_0)\|^2 \equiv \|\omega(t_0)\|^2 + \|\xi(t_0)\|^2 = R^2,$$

$$\|z(t_0^*)\|^2 \equiv \|\omega(t_0^*)\|^2 + \|\xi(t_0^*)\|^2 = \varepsilon^2, \quad R \gg \varepsilon.$$

Для системы (4), (5) $\forall z_0$ на сфере R существует момент времени $t = t_0^*$, при котором справедливы соотношения

$$\|z(t_0^*, t_0, z_0)\| = \varepsilon; \quad \|z(t_0, t_0, z_0)\| < \varepsilon \quad \forall t > t_0^*.$$

Пусть выполняется $t^* = \sup_{z_0} \rho_0^*$.

Функция Ляпунова для системы (4). (5) строится в следующем виде «квадратичная форма плюс интеграл от нелинейности»:

$$V = \omega^T L \omega + \int_0^\sigma \varphi^T \beta d\sigma; \quad L = L^T > 0; \quad \beta = \text{diag}\|\beta_1, \dots, \beta_r\|. \quad (6)$$

При замене $\varphi(\sigma) = h\sigma$; $h \leq K$ второе слагаемое преобразуется к следующей форме $J = \frac{\sigma^T h \beta \sigma}{2}$.

Производная функции (6) после применения s -процедуры, примет вид

$$-\dot{V} = \omega^T G \omega + 2\omega^T C \varphi + \varphi^T C_1 \varphi + S > 0, \quad (7)$$

где

$$G = A^T L + LA, \quad C = LN - \Gamma, \quad C_1 = \beta P^T N + \theta K^{-1}, \\ \Gamma = \frac{1}{2}(P\theta - A^T P \beta), \quad S = \varphi^T \theta (\sigma - K^{-1} \varphi), \quad N = HB.$$

Пусть $l_1(h), l_s(h), \gamma_1, \gamma_{s+r}$ - действительные наименьшие и наибольшие корни характеристических уравнений

$$|L(h) - IE| = 0, \quad L(h) = L + \frac{Ph\beta P^T}{2}, \\ |Q - \gamma E| = 0, \quad Q = \begin{vmatrix} G & C \\ C^T & C_1 \end{vmatrix}.$$

Соотношение (7) справедливо, если выполняются обобщенные условия Сильвестра:

$$Q = \begin{vmatrix} G & C \\ C^T & C_1 \end{vmatrix} \gg 0.$$

Тогда в силу соотношений (6), (7) имеем

$$l_1(h)R^2 \leq V \leq l_s(h)R^2, \quad R^2 = \|\omega\|^2, \quad (8)$$

$$\gamma_1 \left(\|\omega\|^2 + \|\varphi\|^2 \right) \leq z^T Q z \leq \gamma_{s+r} \left(\|\omega\|^2 + \|\varphi\|^2 \right) z = \left\| \begin{matrix} \omega \\ \varphi \end{matrix} \right\|. \quad (9)$$

Из свойства (5) вытекает неравенство

$$\frac{\beta_1}{c_s} \|\omega\|^2 \leq \|\varphi\|^2 \leq \frac{\beta_s}{c_1} \|\omega\|^2. \quad (10)$$

Здесь $\beta_1, \beta_s, c_1, c_s$ - действительные наименьшие и наибольшие корни характеристических уравнений

$$|B_1 - \beta E| = 0, B_1 = Ph\theta P^T; |C_2 - cE| = 0, C_2 = \theta K^{-1}.$$

Принимая во внимание, неравенства (9), (10), получим

$$\mu_1 R^2 \leq -\dot{V} \leq \mu_s R^2, \quad (11)$$

где $\mu_1 = \gamma_1 \left(1 + \frac{\beta_1}{c_s} \right); \mu_s = \gamma_{s+r} \left(1 + \frac{\beta_s}{c_1} \right) + \beta_s.$

Из соотношений (8) и (11) имеем

$$\frac{\mu_1}{l_s} dt \leq -\frac{dV}{V} \leq \frac{\mu_s}{l_1} dt. \quad (14)$$

Проинтегрировав неравенства (14) от t_0 до t и с учетом соотношения (8), мы получим следующую оценку

$$l_s^{-1} V_0 \exp \alpha_1 (t - t_0) \leq R^2 \leq l_1^{-1} V_0 \exp \alpha_2 (t - t_0), \quad (15)$$

где $V_0 = \omega^T(t_0)L(h)\omega(t_0); \alpha_1 = -\mu_s/l_1; \alpha_2 = -\mu_1/l_s.$

Так как неравенства (8) справедливы для $\omega(t_0)$, V_0 из (15) получим на сфере R следующие оценки

$$\|\omega\|^2 \leq R^2 \exp \alpha_2 (t - t_0) \quad (16)$$

при $t = t_0, \|\omega(t_0)\|^2 = R^2.$

Справедлива следующая теорема:

Теорема 1. Пусть функция Еругина является линейной относительно вектор-функции ω , дополненный график функции $\varphi(\sigma)$ лежит в секторе $S[k_1, k_2]$, система (4), (5) асимптотически устойчива при $\varphi(\sigma) = h\sigma \quad \forall h \in [k_1, k_2]$, и существуют определенно-положительные матрицы $L, \beta = \text{diag}(\beta_1, \dots, \beta_r)$ при всех разрывных функций $\varphi(\sigma)$ удовлетворяющих условиям (2-5). Тогда для абсолютной устойчивости программного многообразия $\Omega(t)$ достаточно выполнения обобщенных условий Сильвестра

$$Q > 0. \quad (17)$$

При выполнении условий (16) программное многообразие $\Omega(t)$ является экспоненциально абсолютно устойчивым.

Задача о быстродействии регулятора. В работе [18] сформулированы задачи синтеза асимптотически устойчивых систем, обладающих заданным качеством и приведен метод синтеза законов обратной связи. В работе [18] эти задачи решались для систем автоматического управления. Здесь решается задача синтеза систем, обладающих наперед заданными свойствами в виде заданного многообразия.

Рассмотрим управляемую систему

$$\dot{x} = f(t, x, u), t \in I = [0, \infty[, \quad (18)$$

где x – n -вектор состояния объекта; u – r -вектор управления; f – n -вектор-функция, которая обладает $(n-s)$ -мерным интегральным многообразием

$$\Omega \equiv \omega(t, x) = 0, \quad (19)$$

где ω – s -вектор.

В силу того, что многообразие Ω является интегральным для системы (19) имеет место

$$\dot{\omega} = \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \omega}{\partial x} \cdot f(t, x, u) = F(t, \omega, u), \quad (20)$$

где $F(t, 0, u) \equiv 0$ – некоторая s -вектор-функция; при $F = F(t, \omega, \xi(\omega, t))$ система (18) называется замкнутой; $\xi = \xi(\omega, t)$ – множество законов обратной связи [18].

Пусть система (18) имеет структуру (1), тогда мы можем воспользоваться результатами полученные выше.

Рассмотрим все множество решений уравнения (4), начинающихся на сфере R , называемых R - решениями.

Определение 3. Величина $t^* - t_0$ называется временем регулирования в замкнутой системе, если любое R - решение выходит на ε сферу при $t_0^* \leq t^*$ и остается внутри нее при $t > t^*$.

Задача 2. Дано множество M законов обратной связи. Требуется определить его подмножество M_1 , на котором выполняется условие $t^*(R, \varepsilon, \xi) \leq t_g$, t_g - заданное время.

Задача решается для асимптотически устойчивых систем автоматического управления с разрывными нелинейностями относительно вектор-функции ω .

Дополненный график функции $\varphi(\sigma)$ лежит в секторе $S[k_1, k_2]$,

Если $t = t_0^*$, то из (16) будем иметь

$$R^2 \exp \alpha_2 (t_0^* - t_0) = \varepsilon^2. \quad (22)$$

Отсюда найдем

$$t_0^* - t_0 = -\alpha_2^{-1} \ln \frac{\varepsilon^2}{R^2}. \quad (23)$$

Время регулирования $t_p = t^* - t_0$ в силу соотношений (23) определяется следующим образом :

$$t_p = -\alpha_2^{-1} \sup_{\omega_0} \ln \frac{\varepsilon^2}{R^2}. \quad (24)$$

Таким образом, задача о синтезе быстродействующих регуляторов решается неравенством

$$-\alpha_2^{-1} \sup_{\omega_0} \ln \frac{\varepsilon^2}{R^2} \leq t_g. \quad (25)$$

Элементы матрицы P выбираются из неравенства

$$\gamma_1 \left(1 + \frac{\beta_1}{c_s} \right) t_{\dot{K}}^{-1} \sup_{\omega_0} \ln \frac{\varepsilon^2}{R^2} \leq l_s. \quad (26)$$

В частности, если $C = 0$, то P находится как решение уравнения $P\theta\beta^{-1} - A^T P = LN\beta^{-1}$ с учетом неравенства (26).

Задача о перерегулировании переходного процесса. Рассмотрим любое R -решение замкнутой системы (20), определенное для какого-либо закона обратной связи $\xi = \xi(\omega, t)$, и произвольную положительную функцию $\Phi(\omega)$.

Отношение

$$\sigma = \sup_t \frac{\Phi(\omega) - S}{S}, S > 0 \quad (27)$$

называется перерегулированием [18], $S = \omega(\infty)$ - установившееся значение регулируемой величины после завершения переходного процесса.

Задача 3. Дано множество M законов обратной связи. Требуется определить такое его подмножество M_2 , на котором выполняется неравенство $\sigma = \sigma(R, S, \xi) \leq \sigma_K$, σ_K - заданное число.

Предположим, что [1] $\Phi(\omega) = \omega^T L(h)\omega$, где $L(h) > 0$ - матрица Ляпунова из (6), полученная после линеаризации $\varphi(\sigma)$. Тогда на основании (16), (27) имеем

$$\sigma = \sup_t \frac{R^2 \exp \alpha_2(t - t_0) - S}{S}.$$

В силу того, что $L(h) > 0, Q > 0$, а также с учетом условия (5) получим $\alpha_2 < 0$, и из (27) вытекает

$$\sigma = \sup_t \frac{R^2 - S}{S} > 0 \quad \text{при } R > \sqrt{S}.$$

Приняв во внимание, что $\frac{R^2 - S}{S} \leq \sigma_s$, получим

$$R^2 \leq S(\sigma_K + 1). \quad (28)$$

Таким образом, задача 3 имеет решение, если выполняется неравенство (28) при условии $\mu(P) > 0 \wedge l(P) > 0$.

Литература

1. Майгарин Б.Ж. Устойчивость и качество процессов нелинейных нелинейных систем автоматического управления. Алма-Ата. 1981. -316 с.
2. Еругин Н.П. Построение всего множества систем дифференциальных уравнению, имеющих заданную интегральную кривую // Прикл. Мат. и мех., 1952. Т. 16., вып. 6. С. 653-670.

3. Галиуллин А.С., Мухаметзянова И.А., Мухарлямов Р.Г. и др. Построение систем программного движения. М., 1971. 352 с.
4. Галиуллин А.С., Мухаметзянова И.А., Мухарлямов Р.Г. Обзор исследований по аналитическому построению систем программного движения // Вестник Российского ун-та Дружбы народов. 1994. № 1. С. 5-21.
5. Жуматов С.С., Крементуло В.В., Майгарин Б.Ж. Второй метод Ляпунова в задачах устойчивости и управления движением. Алматы. 1999. 228 с.
6. Якубович В.А. Частотные условия автоколебаний в нелинейных системах с одной стационарной нелинейностью // Сибирский математический журнал. 1973. Т. XIV. № 5. С. 1100-1129.
7. Якубович В.А. Методы теории абсолютной устойчивости // Методы исследования нелинейных систем автоматического управления. М.: Наука, 1975. С. 74 – 180.
8. Гелиг А.Х., Леонов Г.А., Якубович В.А. Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. М.: Наука, 1978. 400 с.
9. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. М.: Наука, 1979. 336 с.
10. Глеубергенов М.И. К обратной стохастической задаче восстановления // Дифференциальные уравнения. - М., 2014. Т. 50. № 2. С. 269-273.
11. Ибраева Г.Т., Глеубергенов М.И. Об основной обратной задаче дифференциальных систем с вырождающейся диффузией // Украинский математический журнал. 2013. Т. 65, № 5. С. 712-716.
12. Самойленко А.М., Яковец В.П. О приводимости вырожденной линейной системы к центральной канонической форме // Допов. АН України. - 1993. - № 4. - С. 10-15.
13. Жуматов С.С. Асимптотическая устойчивость неявных дифференциальных систем в окрестности программного многообразия // Украинский математический журнал. --2014. - Т.66, № 4. - С. 558-565.
14. Буркин И.М. Конвергентность и абсолютная устойчивость систем управления с монотонными нелинейностями // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. Вып. № 4, Том 12. 2007. С. 423-425
15. Llibre J., Ramirez R. Inverse Problems in Ordinary Differential Equations and Applications. Springer International Publishing Switzerland. 2016.
16. Zhumatov S.S. Frequently conditions of convergence of control systems in the neighborhoods of program manifold. Nelineinye kolebania. Kiev, 2016, 28, No.~3., 367-375.
17. Zhumatov S.S. On a program manifold's stability of one contour automatic control systems// Open Engineering, Volume 7, Issue 1, Pages 479-484, ISSN (Online) 2391-5439, DOI: <https://doi.org/10.1515/eng-2017-0051>.
18. Летов А.М. Математическая теория процессов управления. - М.: Наука. 256 с.

УДК 517.9: 004.9; 519.711.3; 504.75.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ТЕРМИКА МЕТОДОМ LBM

Кизбаев А.П., Каржаубаев К.К., Жакебаев Д.Б.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы,
Казахстан*

e-mail: assylzhan.kizbayev@gmail.com, kairzhan.k@gmail.com,
dauren.zhakebayev@gmail.com

***Аннотация.** В данной работе рассматривается динамика крупномасштабных термиков под действием силы плавучести, с учетом турбулентного перемешивания и адиабатического расширения. Численное моделирование осуществляется на основе решения решеточных уравнений Больцмана в двумерной постановке с применением D2Q9 модели. Произведена численная валидация на примере тестовой задачи течения Пуазейля. Получена зависимость высоты подъема облака взрыва ракеты-носителя от термодинамических параметров.*

1. Введение

Аварийные падения ракет-носителей (РН) часто сопровождаются наземным взрывом, при котором образуются крупномасштабные термики. Невозможность проведения экспериментальных замеров механического и химического состава термика, его температуры, взаимодействия с окружающей средой, в связи со скоротечностью процесса образования и распространения термика, обуславливают необходимость применения методов математического моделирования.

Изучение процесса поднятия крупномасштабного термика под действием силы Архимеда, с учетом турбулентного перемешивания и адиабатического расширения, несмотря на большое количество публикаций на данную тематику, остается актуальной задачей для исследователей.

Впервые проблема подъема облака атомного взрыва была рассмотрена в работах [1, 2] Сэттона и Мечта (1950), где предполагается, что подъем термика вызывается силой Архимеда, а охлаждение происходит в результате адиабатического расширения и перемешивания с окружающим воздухом. Циркуляция в облаке и влияние инерции не учитываются, а также приводится аналитический метод определения величин максимальной высоты подъема облака взрыва ракеты-носителя.

Движения вихревого кольца, образовавшегося после взрыва, под действием силы тяжести была теоретически исследована в работе (1967) [3], где рассмотрен

случай малой разности плотностей внутри и вне облака, а также случай, когда разность плотностей велика. Образовавшийся после взрыва от ударной волны объем горячего воздуха, облака взрыва ракеты-носителя, после увеличения до определенного размера стремится вверх, образуя вихревое кольцо. В случае, когда облако образовано у поверхности Земли, его поднятие сопровождается поднятием пылевого столба или термика, придающего грибообразную форму. Основная действующая сила для поднятия термика - это сила Архимеда, которая возникает при разной плотности воздуха, как внутри термика, так и вне термика, в атмосфере. Но, помимо силы Архимеда, из-за существования вихревого кольца циркуляции, на термик действует сила Жуковского, направленная перпендикулярно к направлению скорости движения элемента кольца. Горизонтальная составляющая этой силы растягивает вихревое кольцо в стороны, а вертикальная - несколько тормозит подъем кольца. Температура воздуха в начале подъема велика, затем падает из-за адиабатического расширения. В результате исследования были получены зависимости вертикальной и горизонтальной составляющих скорости движения от времени, а также геометрические размеры термика в зависимости от мощности взрыва.

В данной работе рассматривается поднятие термика при взрыве РН под действием силы Архимеда с учетом адиабатического расширения. Температура воздуха в начальный момент вихревого кольца очень велика, со временем она падает за счет адиабатического расширения, т.е. уменьшения давления с высотой и за счет турбулентного перемешивания нагретого и холодного воздуха. Под действием силы Архимеда облака взрыва нагретого воздуха будет подниматься в атмосферу до момента выравнивания температуры, плотности газовых компонентов внешнего и внутреннего нагретого и холодного воздуха за счет конвективного и диффузионного перемешивания.

Численное моделирование динамики крупномасштабного термика осуществляется на основе решения решеточных уравнений Больцмана (LBE) с применением D2Q9 модели. Методы решеточных уравнений Больцмана (LBM) разрабатываются более двадцати лет и достигли многих значительных успехов [4]. В LBM построены упрощенные кинетические модели, включающие существенную физику микроскопических процессов. Течение отслеживается путем эволюции одночастичных функций распределения фазового пространства и связанных с ними макроскопических усредненных свойств. LBM отличается от других традиционных методов вычислительной гидродинамики (CFD), которые анализируют поля течения, решая макроскопические переменные в уравнениях Навье-Стокса. Многие сложные проблемы в традиционном CFD могут быть решены в LBM, например, турбулентные течения [4-6], многофазные течения [7, 8], теплообмен [9, 10], микрофлюиды [11], течения через пористую среду [12, 13] и фрактальную геометрию [14].

Представлены результаты численного моделирования динамики крупномасштабного термика при наземном взрыве РН «Протон-М» 2-го июля 2013 г. В позиционном районе космодрома «Байконур». Показана зависимость высоты подъема облака в атмосфере от термодинамических параметров. Полученные

результаты моделирования, определяющие высоту поднятия облака, соответствует результатами работы Онуфриева [3] при малых мощностях взрыва.

2. Постановка задачи

В данной статье рассматривается взрыв РН «Протон-М» 2-го июля 2013 года в двумерной постановке. РН «Протон-М» была запущена с космодрома «Байконур» в 08 ч 38 мин. 22 сек. по времени Астаны. До 10 секунды полет осуществлялся штатно. Во второй половине 10 секунды полета произошла нештатная ситуация - ракета начала сильно отклоняться от траектории. На 18 секунде полета ракета развернулась в сторону Земли, стала разваливаться на части и загорелась. На 30 секунде происходит столкновение с землей, взрыв и образование взрывного облака (рисунок 1а) [15].



а)



б)

Рис. 1. а) Взрыв на месте аварийного падения (30 секунда);
б) Максимальная высота облака (через 1 минуту после взрыва)

Пусть в начальный момент времени у поверхности земли находится термик, образовавшегося от взрыва РН, обозначаемый областью - G , радиусом - R , начальной температурой облака - T_0 , и начальной плотностью газовых фаз сухого воздуха - ρ_d и влажного воздуха - ρ_w , температура окружающей среды - T_1 (рисунок 2). Начальные и граничные условия заданы в таблице 1.

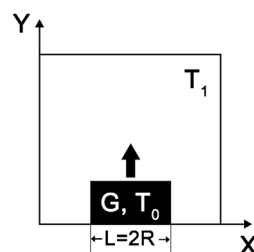


Рис.2. Схематичная иллюстрация постановки задачи

Таблица 1. Начальные и граничные условия

Начальные условия	Граничные условия
$u_i(\mathbf{x}, t = 0) _{\mathbf{x} \in G} = u_0(\mathbf{x}),$ $u_i(\mathbf{x}, t = 0) _{\mathbf{x} \notin G} = 0,$ $T(\mathbf{x}, t = 0) _{\mathbf{x} \in G} = T_0,$ $T(\mathbf{x}, t = 0) _{\mathbf{x} \notin G} = T_1,$ $S_\alpha(\mathbf{x}, t = 0) = \rho_\alpha / \rho_m, \alpha = 1, \dots, N_\alpha,$ $S_\beta(\mathbf{x}, t = 0) = \rho_\beta / \rho_m, \beta = 1, \dots, N_\beta.$	$\frac{\partial u_i}{\partial n} \Big _{x_b} = 0, i = 1, 2$ $\frac{\partial T}{\partial n} \Big _{x_b} = 0,$ $\frac{\partial S_\alpha}{\partial n} \Big _{x_b} = 0, \alpha = 1, \dots, N_\alpha$ $\frac{\partial S_\beta}{\partial n} \Big _{x_b} = 0, \beta = 1, \dots, N_\beta$

Для решения рассматриваемой задачи используются следующие уравнения:
Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m u_m) = 0$$

где u_m – скорость смеси газовой фазы, $\rho_m = \rho_w + \rho_d$ – плотность воздуха, $u_m = \mu_m / \rho_m$ – динамическая вязкость, $\mu_m = \mu_* (T/T_*)^w$, μ_* – значение динамической вязкости при температуре T_* , $\rho_d = \sum_{\alpha=1}^{N_\alpha} S_\alpha \rho_\alpha$; $\sum_{\alpha=1}^{N_\alpha} S_\alpha = 1$ – плотность газовой фазы сухого воздуха, $\rho_w = \sum_{\beta=1}^{N_\beta} S_\beta \rho_\beta$; $\sum_{\beta=1}^{N_\beta} S_\beta = 1$ – плотность газовой фазы водяного пара, $\rho_\alpha = \rho_{*\alpha} (1 - \gamma(T - T_*))$, $\alpha = 1, \dots, N_\alpha$, $\rho_\beta = \rho_{*\beta} (1 - \gamma(T - T_*))$, $\beta = 1, \dots, N_\beta$, также $\rho_{*\alpha}, \rho_{*\beta}$ – плотность газовых компонентов сухого воздуха и влажного воздуха соответственно, при $T_* = 20^\circ C$.

$$\frac{\partial(\rho_m S_\alpha)}{\partial t} = \nabla(\rho_m u_m S_\alpha) = 0, \alpha = 1, \dots, N_\alpha$$

$$\frac{\partial(\rho_m S_\beta)}{\partial t} = \nabla(\rho_m u_m S_\beta) = 0, \beta = 1, \dots, N_\beta$$

Уравнение движения:

$$\frac{\partial(\rho_m u_m)}{\partial t} + \nabla(\rho_m u_m \otimes u_m + \rho_m T_r) = -\nabla p + \nabla T + \rho_m g$$

где g – ускорение под действием силы тяжести, T – тензор напряжений газовой фазы, t – время, p – давление.

Уравнение энтальпии:

$$\frac{\partial(\rho_m h_m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m h_m u_m) + \nabla \cdot (q - T \cdot u_g) = \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial(\rho_m K_m)}{\partial t} - \nabla \cdot (\rho_m K_m u_m) + \rho_m (g u_m)$$

где h_m – энтальпия смеси газовой, $q = -k_g \Delta T$ – тепловой поток в газовой фазе,

$k_g = \sum_{i=1}^{N_i} \chi_i k_i$, k_i – проводимость i -го компонента, T – температура, $K_m = \frac{1}{2} [u_m]^2$ –

кинетическая энергия на единицу массы газовой фазы.

Уравнение температуры:

$$T = \frac{h_m}{\frac{1}{\rho_m} \sum_{i=1}^I \rho_i C_i + \frac{1}{\rho_m} \sum_{i=1}^I \rho_i R_i}$$

где C_i – теплоемкость газовой фазы при постоянном объеме.

Уравнение давления.

Выполняется уравнение состояния идеального газа:

$$P = \frac{R_*}{M_{rd}} \rho_d T + \frac{R_*}{M_{rw}} \rho_w T = R_* T \left(\frac{\rho_d}{M_{rd}} + \frac{\rho_w}{M_{rw}} \right)$$

где $R_* = 8.3144598$, $M_{rd} = \sum_{\alpha}^{N_{\alpha}} S_{\alpha} M_{r\alpha}$, $M_{rw} = \sum_{\beta}^{N_{\beta}} S_{\beta} M_{r\beta}$.

3. Алгоритм определения начального значения температуры облака

Уравнение полной энергии состоит из удельной внутренней энергии и кинетической энергий. Предположим в этой задаче кинетическая энергия $E_k = 0$:

$$E = U \quad (3.1)$$

где $E = 0.25 \cdot q \cdot t_{\text{вз}}$ - энергия взрыва; $t_{\text{вз}}$ - время взрыва; q - мощность взрыва.

Одна треть всей выделившейся при взрыве энергии испускается в виде излучения [3]. В итоге энергия, заключенная в облаке взрыва к началу его подъема, составляет примерно одну четверть от всей энергии взрыва.

Удельная внутренняя энергия при адиабатическом процессе выражается:

$$U = C_v(T_1 - T_0) \quad (3.2)$$

здесь C_v - теплоемкость газа в процессах с постоянным объемом, T_1 - температура окружающей среды, при различных значений начальной температуры T_0 термика.

Подставляя уравнения (3.2) в уравнение (3.1), получим начальное значение температуры облака:

$$T_0 = \frac{E}{C_v} + T_1$$

4. Численный метод

Для моделирования динамики термиком мы рассматриваем модель D2Q9 для решения уравнения Больцмана. Решеточные уравнения Больцмана (LBE) является одним из перспективных технологий последнего десятилетия для моделирования физических и атмосферных процессов. Функции распределения f_i вычисляются путем решения решеточного уравнения Больцмана, которое является особой дискретизацией кинетического уравнения Больцмана. После введения приближения Бхатнагара-Гросса-Крука (BGK) можно сформулировать уравнение Больцмана для потока жидкости и энергии в следующем виде

$$f_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(\mathbf{x}, t) = -\frac{\Delta t}{\tau} [f_i(\mathbf{x}, t) - f_i^{eq}(\mathbf{x}, t)] \quad (4.1)$$

$$g_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - g_i(\mathbf{x}, t) = -\frac{\Delta t}{\tau_\theta} [g_i(\mathbf{x}, t) - g_i^{eq}(\mathbf{x}, t)] \quad (4.2)$$

где \mathbf{x} - радиус-вектор узла решетки, Δt - обозначает решеточный временной шаг, τ - решеточное время релаксации, τ_θ - тепловое время релаксации, \mathbf{e}_i - дискретная решеточная скорость в направлении i , f_i - функция распределения плотности в узле i , f_i^{eq} - равновесная функция распределения, зависящая от макроскопических параметров в узле i , g_i - функция распределения энергии в узле i , g_i^{eq} - равновесная функция распределения, зависящая от макроскопических параметров в узле i .

Векторы скорости e_0, \dots, e_8 модели D2Q9 показаны на рисунке 3. Для каждого вектора скорости хранится значение функции распределения f_i . Скорости вычисляются по формулам

$$e_i = \begin{cases} (0,0)c & i = 0 \\ (1,0)c, (0,1)c, (-1,0)c, (0,-1)c & i = 1, 2, 3, 4 \\ (1,1)c, (-1,1)c, (-1,-1)c, (1,-1)c & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases}$$

где $c = \Delta x / \Delta t$ – решеточная скорость и i – направление решеточной скорости.

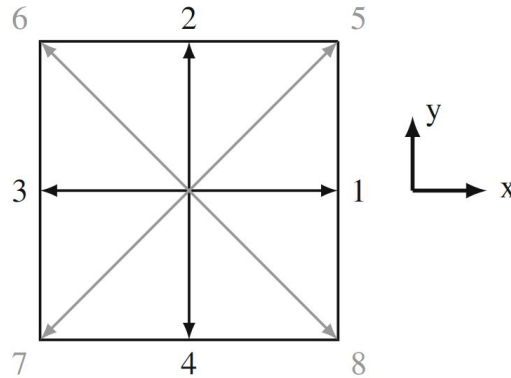


Рис. 3. Схематическая иллюстрация решетки D2Q9

Решеточное время релаксации τ определяется по формуле

$$\tau = 3\nu - \frac{1}{2}.$$

Равновесные функции распределения плотности и энергии Максвелла вычисляются по формуле

$$f_i^{eq} = w_i \rho \left(1 + \frac{e_i \cdot u}{c_s^2} + \frac{1}{2} \frac{(e_i \cdot u)^2}{c_s^4} - \frac{1}{2} \frac{u^2}{c_s^2} \right),$$

$$g_i^{eq} = w_i T \left(1 + \frac{e_i \cdot u}{c_s^2} + \frac{1}{2} \frac{(e_i \cdot u)^2}{c_s^4} - \frac{1}{2} \frac{u^2}{c_s^2} \right),$$

где ρ – плотность среды, T – температура среды, $c_s = 1/\sqrt{3} \cdot c$ – решеточная скорость звука и значения весовых коэффициентов w_i таковы:

$$w_i = \begin{cases} 4/9 & i = 0 \\ 1/9 & i = 1, 2, 3, 4 \\ 1/36 & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases}$$

Уравнение (4.1) можно разделить на два этапа, столкновение и распространение:

$$1. \tilde{f}_i(\mathbf{x}, t) = f_i(\mathbf{x}, t) - \frac{\Delta t}{\tau} [f_i(\mathbf{x}, t) - f_i^{eq}(\mathbf{x}, t)],$$

$$2. f_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \Delta t, t + \Delta t) = \tilde{f}_i(\mathbf{x}, t).$$

Здесь $\tilde{f}_i(\mathbf{x}, t)$ обозначает массу частиц, пришедших в узел по направлению i , столкнувшихся с остальными частицами. На втором этапе столкнувшиеся частицы переносятся в соседние узлы по направлениям i . Данная процедура является аналогичным для функции распределения энергии g_i .

После второго этапа необходимо пересчитать макроскопические переменные плотности, скорости и температуры жидкости как первые два момента функций распределения для каждого узла:

$$\rho = \sum_{i=0}^8 f_i, \quad \rho \mathbf{u} = \sum_{i=0}^8 \mathbf{e}_i f_i, \quad T = \sum_{i=0}^8 g_i.$$

Выражение для энтальпии определяется по формуле:

$$h = \rho C_p T,$$

где C_p – теплоемкость при постоянном давлении.

5. Численная валидация

Рассмотрим тестовую задачу о течениях Пуазейля для валидации численного алгоритма. Рассматривается ламинарное течение в двумерной области с неподвижными параллельными стенками. В неподвижных стенках применена схема mid-link bounce back (BB) в качестве граничных условий. Согласно схеме, граница стенки расположена на пол шаге от границ узлов жидкости (boundary fluid nodes). Функции распределения, направленные внутрь от границы, определяются по формуле

$$f_i(\mathbf{x}_B, t + \Delta t) = \tilde{f}_i(\mathbf{x}_B, t)$$

где \mathbf{x}_B - координаты точек в границе.

В таблице 2 заданы параметры расчетов тестовой задачи. Высота канала H равен $32h$. Моделирование произведена при различных размерах расчетной области: $N_x \times N_y = 32^2, 64^2, 96^2$ и 128^2 . Максимальная скорость в канале и скорость звука c_s равны 0.1 и 0.5773, соответственно. Кинематическая вязкость ν равен к 9.021×10^{-3} . Число Рейнольдса равен к $Re = V_{max} \cdot H / \nu = 30$. Параметры релаксации τ равен 1.2.

Таблица 2. Параметры моделирования

Параметры	
Фактор масштабирования, $scale$	$scale = 1 \div 3$
Количество точек по оси x , N_x	$N_x = 32 \cdot scale$
Количество точек по оси y , N_y	$N_y = 32 \cdot scale$
Параметр релаксации, τ	$\tau = \sqrt{3/16} + 0.5$
Максимальная скорость в канале, V_{max}	$V_{max} = 0.1/scale$
Кинематическая вязкость, ν	$\nu = (2\tau - 1)/6$
Число Рейнольдса, Re	$Re = V_{max} H / \nu$
Давление на выходе канала, p_{out}	$p_{out} = 1$

Вдоль оси X поддерживается постоянная разность давлений:

$$\frac{\Delta p}{x_{out} - x_{in}} = \frac{8\eta V_{max}}{(y_{top} - y_{bot})^2},$$

где Δp – разница в давлениях, $\Delta p = p_{out} - p_{in}$, p_{out} и p_{in} – давление на выходе и входе канала, соответственно. η – динамическая вязкость, V_{max} – максимальная скорость течения в канале, x_{out} и x_{in} – границы выхода и входа соответственно, y_{top} и y_{bot} – границы верхней и нижней стенки соответственно.

Аналитическое решение задачи вычисляются из следующей формулы:

$$u(y) = -\frac{1}{2\eta} \frac{\Delta p}{x_{out} - x_{in}} (y - y_{bot})(y - y_{top}), \quad y_{bot} \leq y \leq y_{top}.$$

На рисунке 4 представлено сравнение численного решения с аналитическим решением в сечении $x/H = 0.5$. Течение устанавливается при $t \cdot \nu / H^2 = 0.4875$. Как видно из рисунка численные результаты хорошо согласуется с аналитическим решением.

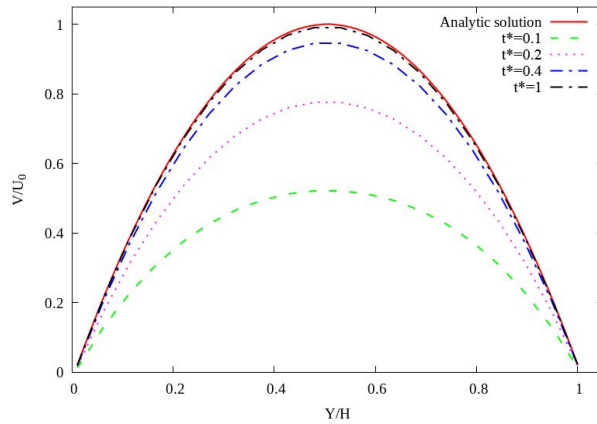


Рис. 4. Сравнение численного результата с аналитическим решением при различных моментах времени

На рисунках 5а и 5б представлены профили нормы ошибки $L1$ и $L2$ при различных размерах сетки. Ошибки нормы $L1$ и $L2$ были вычислены по следующей формуле

$$\varepsilon_{L1}(t) = \frac{\sum_{x,y} |q_n(x,y,t) - q_b(x,y,t)|}{\sum_{x,y} |q_b(x,y,t)|}, \quad \varepsilon_{L2}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{x,y} |q_n(x,y,t) - q_b(x,y,t)|^2}}{\sum_{x,y} |q_b(x,y,t)|^2}.$$

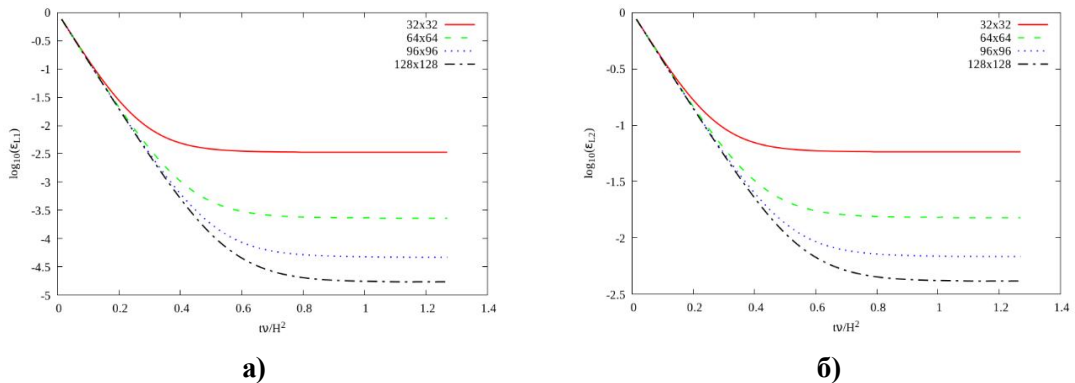


Рис. 5. Профили ошибки нормы а) $L1$ и б) $L2$ при различных моментах времени

Как видно из рисунков увеличение разрешения сетки способствует к уменьшению норм ошибок. Если предположить, что известна норма ошибок при различных размерах сетки и что их соотношение размеров каждой сетки к начальному равен m , то можно определить порядок точности по следующей формуле

$$n(t) = \log_m \left(\frac{\varepsilon_0(t)}{\varepsilon_m(t)} \right).$$

В тестовой задаче ошибки нормы были вычислены в момент времени $t \cdot v / H^2 = 1$. Порядки точности численного алгоритма в зависимости размера сетки представлены на таблице 3.

Таблица 3. Порядок точности $L1$ и $L2$ в зависимости от размера сетки при $t \cdot v / H^2 = 1$

Размер сетки	$u (L1)$	Порядок (n)	$u (L1)$	Порядок (n)
32×32	3.3738×10^{-4}	-	5.8084×10^{-2}	-
64×64	2.3047×10^{-4}	3.8716	1.5181×10^{-2}	1.9358
96×96	4.6600×10^{-4}	3.8978	6.8264×10^{-2}	1.9489
128×128	1.6972×10^{-4}	3.8175	4.1198×10^{-3}	1.9087

6. Результаты моделирования

Представлены результаты численного моделирования эволюции облака взрыва ракеты-носителя на основе метода LBM. Были использованы условия аварии РН «Протон-М» 2-го июля 2013 г. Определена динамика изменения высоты подъема облака взрыва в атмосфере зависимости от термодинамических параметров. Полученные результаты моделирования, определяющий высоту поднятия облака соответствует результатам работы Онуфриева [3], при малых мощностях взрыва. Также показана динамика изменения состава облака при мощности взрыва, рассчитанной от размеров воронки.

Численное моделирование этапа формирования газопылевого облака в первые минуты аварии проведено в двумерной области с физическим размером 300 м высоты и 120 м длины и расчетной сеткой 128×256 . Метеорологические данные в момент взрыва и физико-химические параметры взрыва ракеты-носителя указаны в таблицах 4-6.

Таблица 4. Физико-химические свойства газов облака

Название	Молярная масса, г/моль	Плотность 0°C , кг/м ³	Кинематическая вязкость, м ² /с	Динамическая вязкость, Па·с 0°C	Диаметр молекул, м	Доля (%)
Оксид углерода	28.01	1.25	$1329.6 \cdot 10^{-8}$	$1662 \cdot 10^{-8}$	$0.32 \cdot 10^{-9}$	15
Диоксид углерода	44.01	1.9768	$693.039 \cdot 10^{-9}$	$1370 \cdot 10^{-8}$	$0.33 \cdot 10^{-9}$	1.95
Азот	28.01456	1.251	$2.053 \cdot 10^{-8}$	$1660 \cdot 10^{-8}$	$0.3 \cdot 10^{-9}$	78
Оксид азота	30.0061	1.3402	$1343.08 \cdot 10^{-8}$	$1780 \cdot 10^{-8}$	$0.3 \cdot 10^{-9}$	2.5
Диоксид азота	46.0055	2.0527	$829.72 \cdot 10^{-8}$	$1112 \cdot 10^{-8}$	$0.28 \cdot 10^{-9}$	2.5
Водяной пар	18.01528	998.2	$101.2 \cdot 10^{-8}$	$101000 \cdot 10^{-8}$	$0.29 \cdot 10^{-9}$	0.05

Таблица 5. Параметры взрыва ракеты-носителя

Параметры	
Номер ступени РН	1+2+3
Остаток ракетного топлива на момент взрыва (НДМГ + АТ), т	0.703
Показатель действия взрыва (n)	2
Мощность взрыва, т	0.878
Глубина воронки, м	5
Радиус воронки, м	10
Диаметр воронки, м	20
Объем воронки, м	785.4
Масса выброшенной из воронки почвы, т	1178.2
Высота вала (бруствера) воронки, м	1.3
Радиус облака взрыва, м	2.6
Объем облака взрыва, м	74.05
Энергия взрыва, 10^9 Дж	3.67
Высота поднятия облака, м	288

Таблица 6. Метеорологические параметры, площадка 92 (высота расположения около 100 м)

Высота, м	Температура воздуха, С	Влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм.рт.ст	Направление ветра, град	Скорость ветра, м/с
10	18.6	45	738.5	10	6-8
40	-	-	-	20	7-8

Наземный взрыв сопровождается образованием воронки. Размеры воронок зависят от мощности взрыва и типа почво-грунтов. Мощность взрыва и глубина воронки связаны соотношением [16, 17]:

$$q = K_B W^3 (0.4 + 0.6n^3) \quad (14)$$

где q – мощность взрыва; $K_B = 1,35$ – расчетный удельный расход ВВ, $кг/м^3$ $W = 5$ м – глубина воронки, m , $n = 2$ показатель действия взрыва.

Формула (14) позволяет вычислить мощность взрыва по известной глубине воронки, получилась $q = 0.878 т$.

Максимальная высота подъёма (км) облака взрыва определяется по формуле Сэттона [1]:

$$H = 0.665q^{0.276}.$$

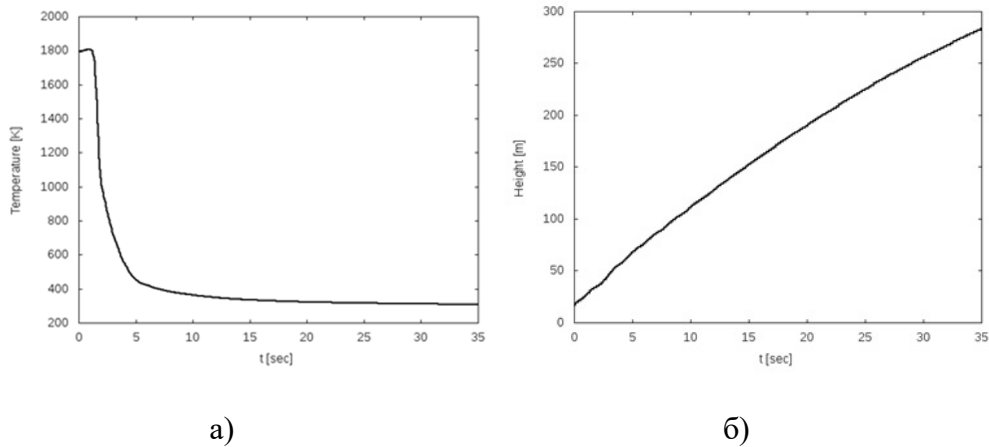


Рис. 6. Изменение а) температуры и б) высоты образовавшегося облака при мощности взрыва $q=0.878$ т.

На рисунке 6а изображена начальная форма облака взрыва ракеты-носителя. Как видно из рисунка 6б, в первые секунды аварии облако принимает грибовидную форму, где на верхней части наблюдается образование вихревого кольца [16, 18]. В начальный момент времени температура вихревого кольца велика и равняется 1800 К, в течении 5,5 секунд температура существенно падает до 400 К за счет адиабатического расширения и за счет турбулентного перемешивания нагретого воздуха облака и холодного воздуха окружающей среды. Падение температуры облака после 5,5 секунды происходит с меньшей скоростью, поскольку в данные моменты времени изменение температуры осуществляется за счет турбулентного перемешивания. Под действием силы плавучести облака нагретого воздуха поднимается в атмосферу до момента выравнивания температуры, плотности газовых компонентов внешнего и внутреннего нагретого и холодного воздуха. При проведении численного моделирования эффект теплового излучения не учитывался.

На рисунках 6а – 6б представлены графики изменения высоты поднятия облака и максимальной температуры в облаке в зависимости от времени при мощности взрыва $q = 0.878$ т.

Динамика изменения концентрации в облаке представлена на рисунке 7а.

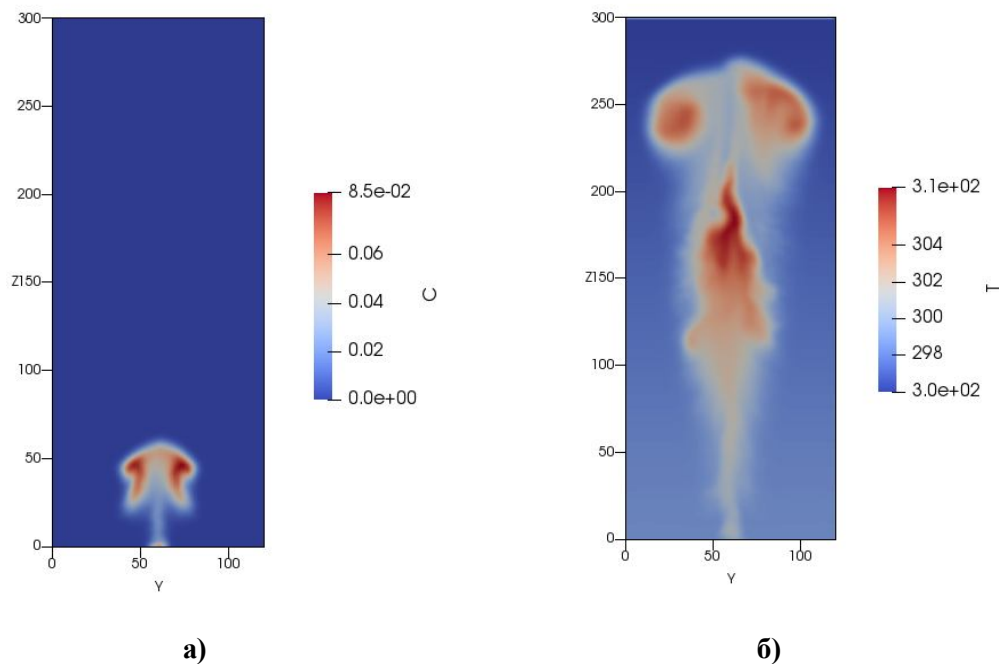


Рис. 7. Динамика распространения поля концентрации смеси при начальном значении энергии взрыва $E = 3.67 \cdot 10^9$ Дж в сечении $x=60$ м:
а) $t = 5$ с; б) $t = 35$ с.

6. Заключение

В данной работе было рассмотрена динамика крупномасштабных термиком взрыва под действием силы плавучести, с учетом эффектов турбулентного перемешивания и адиабатического расширения. Начальные метеорологические условия, а также параметры взрыва, соответствуют реальным параметрам аварии РН «Протон-М», произошедшей 2-го июля 2013 г. в позиционном районе космодрома «Байконур».

Численный алгоритм основан на решении решеточных уравнений Больцмана в сжимаемой постановке. Использованный численный алгоритм имеет второй порядок точности по времени и по пространству. Порядок точности численного алгоритма оценена с помощью тестовой задачи.

Получены результаты численного моделирования динамики крупномасштабных термиком. Определены геометрические характеристики термика поднятого в результате всплытия: высота, формы вихревого кольца в термике. Мощность взрыва рассчитана от размеров воронки.

Полученные результаты моделирования, определяющий высоту поднятия облака соответствует результатам работы Онуфриева [5], при малых мощностях взрыва.

В заключении отметим, что результаты данного исследования позволяют оценить геометрические характеристики поднятого термика, концентрацию смеси

газовых компонентов в разные моменты времени. Подобная возможность неопределима при отсутствии экспериментальных данных об образовавшемся крупномасштабных термиков в результате аварии. Полученные результаты позволят провести первичную оценку влияния аварии на окружающую среду.

Литературы

1. Sutton O.G. : The Atom bomb as an experiment in convection // *Weather*. 1947. V. 2. № 4. P. 20.
2. Machta L. Entrainment and the maximum height of an atomic cloud // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1950. V. 31. № 6. P. 215–216.
3. Онуфриев, А.Т. Теория движения вихревого кольца под действием силы тяжести. Подъем облака атомного взрыва // *ПМТФ*. 1967. № 2. с. 3-15.
4. Chang S.C., yang Y.T., Chen C.K., Chen W.L. Application of the lattice Boltzmann method combined with large-eddy simulations to turbulent convective heat transfer // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. Vol. 66. P. 338-348.
5. Pradhan A., Yadav S. Large Eddy Simulation using Lattice Boltzmann Method based on Sigma Model // *Procedia Engineering*. 2015. Vol 127. P. 177-184.
6. Sagaut P. Toward advanced subgrid models for Lattice-Boltzmann-based Large-eddy simulation: Theoretical formulations // *Computers and Mathematics with Applications*. 2010. Vol. 59. P. 2194-2199.
7. Grunau D., Chen S., Eggert K. A lattice Boltzmann model for multiphase fluid flows, *Phys. Fluids*. 1993. Vol. 5. P. 2557–2562.
8. Amirshaghghi H., Rahimian M.H., Safari H., Krafczyk M. Large Eddy Simulation of liquid sheet breakup using a two-phase lattice Boltzmann method // *Computers and Fluids*. 2018. Vol. 160. P. 93-107.
9. Chen C.K., Chang S.C., Sun S.Y. Lattice Boltzmann method simulation of channel flow with square pillars inside by the field synergy principle // *CMES-Comput. Model. Eng. Sci.* 2007. Vol. P. 203–215.
10. Yang Y.T., Chang S.C., Chiou C.S. Lattice Boltzmann method and large-eddy simulation for turbulent impinging jet cooling // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. Vol. 61. P. 543-553.
11. Zhang J. Lattice Boltzmann method for microfluidics: models and applications // *Microfluid. Nanofluid.* 2011. Vol. 10. P. 1–28.
12. Guo Z., Zhao T.S. Lattice Boltzmann model for incompressible flows through porous media // *Phys.Rev.E*. 2002. Vol. 66. 036304.
13. Kuwata Y., Suga K. Large eddy simulations of pore-scale turbulent flows in porous media by the lattice Boltzmann method // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. Vol. 55. P. 143-157.
14. Chang S.C., Hsu Y.S., Chen C.L. Lattice Boltzmann simulation of fluid flows with fractal geometry: an unknown-index algorithm // *J.Chin.Soc.Mech.Eng.* 2011. Vol. 32. P. 523–531.
15. Авдеев Ф.А. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности / под ред. Ф.А. Авдеева.- М: Недра, 1972. – 239 с.

16. Якуш С.Е. Гидродинамика и горение газовых и двухфазных выбросов в открытой атмосфере: Дис. док. физ.-мат. наук / Институт проблем механики РАН. - Москва, 2000. – 336 с.

17. Zatevakhin M.A. Turbulent Thermal in a Humid Atmosphere// High Temperature. 2001. V. 39. N 4. P. 532–539.

18. Соминский Е.М. Действие ядерного оружия / под ред. Е.М. Соминского. – М: Военное издательство министерства обороны СССР, 1965. – 679 с.

ОПТИМАЛЬНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КЛАСТЕРА

Мурзабеков З.Н., Мирзахмедова Г.А.

Факультет информационных технологий Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: murzabekov-zein@mail.ru, gulbanu.myrzahmedova@gmail.com

***Аннотация.** Рассматривается задача оптимальной стабилизации для одного класса нелинейных систем с коэффициентами, зависящими от состояния объекта управления. Найдено нелинейное управление, основанное на принципе обратной связи с учетом ограничений на управление, которое зависит от состояния системы и текущего момента времени. Полученные результаты для нелинейных систем, используются при конструировании управляющих параметров для трехсекторного экономического кластера на бесконечном интервале времени.*

Введение. В теории управления большое внимание уделяется проблеме исследования устойчивости в нелинейных системах и задаче стабилизации нелинейных систем управления. За последнее время появились новые алгоритмы управления нелинейными системами, основанные на использовании уравнений Риккати с коэффициентами, зависящими от состояния системы. Неоднозначность представления нелинейной системы в виде системы линейной структуры и отсутствие достаточно универсальных алгоритмов решения уравнения Риккати, параметры которого также зависят от состояния, порождают множество возможных субоптимальных решений. В связи с тем, что в технических и экономических системах существует множество различных типов нелинейностей, поэтому возникают различные подходы к построению законов управления с обратной связью, рациональные относительно заданного критерия качества [1]-[4].

На практике встречается большое количество задач оптимального управления для экономических систем, которые являются нелинейными системами с коэффициентами, зависящими от состояния объекта управления [5,6].

В настоящей работе рассматривается задача оптимальной стабилизации для одного класса нелинейных систем с коэффициентами, зависящими от состояния объекта управления. Предлагается использовать подход, основанный на достаточных условиях оптимальности, который позволяет представить искомое управление в виде стабилизирующего управления, зависящего от состояния нелинейной системы и текущего момента времени. Кроме того, этот метод дает возможность учесть имеющиеся ограничения на значения управлений. Полученные результаты для нелинейных систем, используются при конструировании управляющих параметров для трехсекторного экономического кластера на бесконечном интервале времени.

1. Трехсекторная экономическая модель кластера. Рассмотрим задачу оптимального управления для экономической модели кластера, состоящей из трех секторов: $i = 0$ (материальный сектор), $i = 1$ (фондосоздающий сектор), $i = 2$ (потребительский сектор). Предполагается, что в каждом секторе производится свой агрегированный продукт: в материальном секторе – предметы труда (топливо, электроэнергия, сырье и другие материалы); в фондосоздающем секторе – средства труда (машины, оборудование, производственные здания, сооружения и т.д.); в потребительском секторе – предметы потребления.

Рассматриваемая математическая модель состоит из [5]:

а) трех функций удельного выпуска типа Кобба – Дугласа:

$$x_i = \theta_i A_i k_i^{\alpha_i}, \quad A_i > 0, \quad 0 < \alpha_i < 1, \quad (i = 0, 1, 2), \quad (1)$$

б) трех дифференциальных уравнений, описывающих динамику фондовооруженностей:

$$\dot{k}_i = -\lambda_i k_i + (s_i / \theta_i) x_i, \quad k_i(0) = k_i^0, \quad \lambda_i > 0, \quad (i = 0, 1, 2), \quad (2)$$

в) трех балансовых соотношений:

$$s_0 + s_1 + s_2 = 1, \quad s_0 \geq 0, \quad s_1 \geq 0, \quad s_2 \geq 0, \quad (3)$$

$$\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1, \quad \theta_0 \geq 0, \quad \theta_1 \geq 0, \quad \theta_2 \geq 0, \quad (4)$$

$$(1 - \beta_0)x_0 = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2, \quad \beta_0 \geq 0, \quad \beta_1 \geq 0, \quad \beta_2 \geq 0. \quad (5)$$

Здесь состояние экономической системы (фондовооруженность) описывается вектором (k_0, k_1, k_2) , а $(s_0, s_1, s_2, \theta_0, \theta_1, \theta_2)$ – вектор управлений (s_0, s_1, s_2) – доли секторов в распределении инвестиционных ресурсов, $(\theta_0, \theta_1, \theta_2)$ – доли секторов в распределении трудовых ресурсов); x_i – удельный выпуск (количество

выпускаемой продукции в i -м секторе в расчете на одного работающего); β_i – прямые материальные затраты при выпуске продукции в i -м секторе; $i = 0, 1, 2$. Начальное состояние системы равно (k_0^0, k_1^0, k_2^0) , где $k_i^0 = k_i(0)$ – фондовооруженность i -го сектора ($i = 0, 1, 2$) при $t = 0$.

2. Постановка задачи оптимальной стабилизации. Рассмотрим задачу оптимального управления для одного класса нелинейных систем с коэффициентами, зависящими от состояния объекта. Рассматривается задача перевода нелинейной системы из заданного начального состояния (k_0^0, k_1^0, k_2^0) в желаемое состояние (k_0^s, k_1^s, k_2^s) за бесконечный интервал времени $[0, \infty)$. В качестве желаемого конечного состояния (k_0^s, k_1^s, k_2^s) выбирается состояние равновесия системы:

$$k_1^s = \left(\frac{s_1 A_1}{\lambda_1} \right)^{\frac{1}{1-\alpha_1}}, \quad k_0^s = \frac{s_0 \theta_1 A_1 (k_1^s)^{\alpha_1}}{\lambda_0 \theta_0}, \quad k_2^s = \frac{s_2 \theta_1 A_1 (k_1^s)^{\alpha_1}}{\lambda_2 \theta_2}.$$

Значения фондовооруженностей k_i^s ($i = 0, 1, 2$) в состоянии равновесия зависят от управлений $(s_0, s_1, s_2, \theta_0, \theta_1, \theta_2)$, для которых в работе [7] определены значения $(s_0^s, s_1^s, s_2^s, \theta_0^s, \theta_1^s, \theta_2^s)$.

Математическую модель объекта управления (2), запишем в виде системы дифференциальных уравнений в векторной форме:

$$\dot{y}(t) = Ay(t) + BD(y)u(t) + B(D(y) - D(k^s))v^s, \quad y(t_0) = y_0, \quad t \in [t_0, \infty). \quad (6)$$

используя следующие обозначения:

$$y_1 = k_1 - k_1^s, \quad y_2 = k_2 - k_2^s, \quad y_3 = k_0 - k_0^s,$$

$$u_1 = s_1 - v_1^s, \quad u_2 = s_2 \theta_1 / \theta_2 - v_2^s, \quad u_3 = s_0 \theta_1 / \theta_0 - v_3^s,$$

$$v_1^s = s_1^s, \quad s_2^s \theta_1^s / \theta_2^s = v_2^s, \quad s_0^s \theta_1^s / \theta_0^s = v_3^s,$$

$$f_1(y_1) = (y_1 + k_1^s)^{\alpha_1}, \quad f_2(y_2) = (y_2 + k_2^s)^{\alpha_2}, \quad f_3(y_3) = (y_3 + k_0^s)^{\alpha_0},$$

$$A = \begin{pmatrix} -\lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & A_1 \end{pmatrix},$$

$$D(y) = \begin{pmatrix} (y_1 + k_1^s)^{\alpha_1} & 0 & 0 \\ 0 & (y_1 + k_1^s)^{\alpha_1} & 0 \\ 0 & 0 & (y_1 + k_1^s)^{\alpha_1} \end{pmatrix}.$$

$$D(k^s) = \begin{pmatrix} (k_1^s)^{\alpha_1} & 0 & 0 \\ 0 & (k_1^s)^{\alpha_1} & 0 \\ 0 & 0 & (k_1^s)^{\alpha_1} \end{pmatrix}.$$

$$Ak^s + BD(k^s)v^s = 0.$$

Здесь $y = (y_1, y_2, y_3)^*$ означает вектор состояния объекта, $u = (u_1, u_2, u_3)^*$ означает вектор управления. Компоненты вектора управления $u = (u_1, u_2, u_3)^*$ удовлетворяют двусторонним ограничениям следующего вида:

$$u(t) \in U(t) = \{u \mid \gamma_1(t) \leq u(t) \leq \gamma_2(t), t \in [t_0, \infty); \gamma_1, \gamma_2 \in C[t_0, \infty)\}. \quad (7)$$

Будем предполагать, что система (6) управляема. Матрицы A, B удовлетворяют условию управляемости, т. е. выполняется условие $\text{rang}[B, AB, \dots, A^{n-1}B] = n$. Следует отметить, что критерии управляемости для нелинейных систем были получены в работе Дж. Кламке [8]. Исследования устойчивости нелинейных систем были выполнены А.П. Афанасьевым и др. [1] и С.М. Лобановом и др. [2]. М.Г. Дмитриев и др. [3] исследуют оптимальную стабилизацию для одного класса нелинейных систем с коэффициентами, зависящими от состояния объекта управления на бесконечном временном интервале. В.Н. Афанасьев и П.В. Орлов [4] рассматривают класс нелинейных систем, для которых существует координатное представление (диффеоморфизм), преобразующее исходную систему в систему с линейной частью и нелинейной обратной связью. В работах [9,10] рассмотрены задачи оптимального управления с применением множителей Лагранжа для технических систем и линеаризованной системы экономического кластера.

Обозначим через $\Delta(t_0)$ множество всех допустимых управлений, удовлетворяющих условию $u(t) \in U(t)$, $t \in [t_0, \infty)$, и соответствующих траекторий $y(t, u)$ системы (6).

Пусть на множестве $\Delta(t_0)$ задан функционал, который зависит от управления и состояния объекта:

$$J(u) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} [y^*(t)Q(y)y(t) + (u(t) + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s)^* R(u(t) + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s)] dt, \quad (8)$$

где $Q(y) = KBD(y)R^{-1}D^*(y)B^*K - KBD(k^s)R^{-1}D^*(k^s)B^*K + Q_1$ – положительно полуопределенная матрица, а $R, D(y)$ – положительно определенные матрицы.

Ставится задача. Требуется найти стабилизирующее управление $u(y, t)$, которое удовлетворяет двусторонним ограничениям (7) и переводит систему (6) из заданного начального состояния $y(t_0) = y_0$ в желаемое состояние равновесия $y(\infty) = 0$ за интервал времени $[t_0, \infty)$, минимизируя при этом функционал (8).

Для задачи оптимального управления (6)–(8) осуществляется поиск такого управления $u(y, t)$, чтобы положение равновесия в замкнутой системе было асимптотически устойчиво по Ляпунову и сконструировать при этом такой критерий, по которому построенное управление обладает некоторой оптимальностью. Для этого использован метод, основанный на применении множителей Лагранжа специального вида [9].

3. Решение задачи оптимальной стабилизации. Для решения поставленной задачи прибавим к выражению для функционала (8) систему дифференциальных уравнений (6) с множителем $\lambda = K(t)y$, а также следующее выражение

$$\lambda_1^*(t)[\gamma_1 - u(t)] + \lambda_2^*(t)[u(t) - \gamma_2],$$

где $\lambda_1(t) \geq 0, \lambda_2(t) \geq 0$. В результате получим следующий функционал:

$$\begin{aligned} L(y, u) = \int_{t_0}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2} y^* Q(y) y + \frac{1}{2} (u(t) + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s)^* R(t)(u(t) + \right. \\ \left. + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s) + (K(t)y)^* (Ay + BD(y)u(t) + B(D(y) - D(k^s))v^s - \dot{y}) + \right. \\ \left. + \lambda_1^*(t)[\gamma_1 - u(t)] + \lambda_2^*(t)[u(t) - \gamma_2] \right\} dt, \quad (9) \end{aligned}$$

где $K(t)$ – симметрическая положительно определенная матрица.

Введем в рассмотрение следующие функции:

$$V(y, t) = \frac{1}{2} y^* K(t) y, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = K(t) y, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} M(y, u, t) = \frac{1}{2} y^* (Q(y) + \dot{K}(t)) y + \frac{1}{2} (u(t) + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s)^* R(u(t) + \\ + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s) + (K(t)y)^* (Ay + BD(y)u(t) + B(D(y) - D(k^s))v^s) + \\ + \lambda_1^*(t)[\gamma_1 - u(t)] + \lambda_2^*(t)[u(t) - \gamma_2]. \quad (11) \end{aligned}$$

Тогда справедливо следующее представление функционала (9)

$$L(y, u) = V(y_0, t_0) + \int_{t_0}^{\infty} M(y, u, t) dt. \quad (12)$$

Искомое управление определяется из соотношения

$$R(u(t) + (E - D^{-1}(y)D(k^s))v^s) = -D^*(y)B^*K(t)y + (\lambda_1 - \lambda_2), \quad (13)$$

где матрица $K(t)$ удовлетворяет в интервале $t \in [t_0, \infty]$ дифференциальным уравнениям:

$$\dot{K} + KA + A^*K - KBD(k^s)R^{-1}D^*(k^s)B^*K + Q_1 = 0, \quad K(t_0) = K_0, \quad (14)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$A_1(y, t) = A - BD(y)R^{-1}D^*(y)B^*K(t), \quad \varphi(y, t) = R^{-1}[\lambda_1(y, t) - \lambda_2(y, t)],$$

$$\begin{aligned} \lambda_1(y, t) &= R \max \{0; \gamma_1 - \omega(y, t)\} \geq 0, \\ \lambda_2(y, t) &= R \max \{0; \omega(y, t) - \gamma_2\} \geq 0, \\ \omega(y, t) &= -(E - D^{-1}(y)D_s)v_s - R^{-1}D^*(y)B^*K(t)y. \end{aligned} \quad (15)$$

Отметим, что выбор множителей $\lambda_1(t) \geq 0$, $\lambda_2(t) \geq 0$ вида (15) обеспечивают выполнение условий дополняющей нежесткости

$$\lambda_1^*(t)[\gamma_1 - u(t)] = 0, \quad \lambda_2^*(t)[u(t) - \gamma_2] = 0.$$

Пусть существует решение уравнения (14), тогда дифференциальное уравнение, определяющее закон движения системы, представим в следующем виде:

$$\dot{y} = A_1(y, t)y(t) + BD(y)\varphi(y, t), \quad y(t_0) = y_0. \quad (16)$$

Результаты, установленные для задачи оптимального управления (6)-(8), сформулируем в виде следующего утверждения.

Теорема. Пусть $Q(y)$ – положительно полуопределенная матрица, а $R(t)$, $D(y)$ – положительно определенные матрицы в интервале $[t_0, \infty)$. Предположим, что система (6) является вполне управляемой в момент времени t_0 . Тогда для

оптимальности пары $(y(t), u(t))$ в задаче (6)-(8), достаточно, выполнения следующих условий:

1) траектория $y(t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\dot{y} = A_1(y, t)y(t) + BD(y)\varphi(y, t), \quad y(t_0) = y_0; \quad (17)$$

2) управление $u(t)$ определяется следующим образом:

$$u(y, t) = \omega(y, t) + \varphi(y, t). \quad (18)$$

Матрица $K(t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению (14), вектор-функция $\varphi(y(t), t)$ определяется по формуле (15) таким образом, чтобы обеспечить выполнение ограничений на управление (7).

4. Алгоритм решения задачи оптимальной стабилизации. Опишем удобный для реализации на компьютере алгоритм решения задачи оптимального управления (6)-(8).

1. Проинтегрировать систему дифференциальных уравнений (14) для определения матриц $K(t)$ в интервале $[t_0, \infty)$ с условиями $K(t_0) = K_0$.

2. Проинтегрировать систему дифференциальных уравнений (17) в интервале $[t_0, \infty)$ при начальных условиях $y(t_0) = y_0$. В процессе интегрирования системы (17) на печать необходимо выдать график оптимальной траектории $y(t)$ и оптимального управления $u(t)$.

3. Пусть найдено состояние системы $y(t)$ и оптимальное управление $u(t)$, тогда

$$f_i(y_i) = (y_i + k_i^s)^{\alpha_i},$$

$$v = \frac{\beta_1 A_1 f_1(y_1) + \beta_2 A_2 f_2(y_2)(1 - u_1 - v_1^s)/(u_2 + v_2^s)}{(1 - \beta_0) A_0 f_3(y_3)(1 - u_1 - v_1^s)/(u_3 + v_3^s) + \beta_2 A_2 f_2(y_2)(1 - u_1 - v_1^s)/(u_2 + v_2^s)} \quad (19)$$

обеспечивают выполнение условия (5);

$$s_1 = u_1 + v_1^s, \quad s_2 = (1 - v)(1 - u_1 - v_1^s), \quad s_0 = v(1 - u_1 - v_1^s) \quad (20)$$

обеспечивают выполнение условия (3);

$$\theta_1 = \frac{1}{1 + s_0/(u_3 + v_3^s) + s_2/(u_2 + v_2^s)}, \quad \theta_2 = \frac{(1 - v)(1 - s_1)\theta_1}{(u_2 + v_2^s)}, \quad \theta_0 = \frac{v(1 - s_1)\theta_1}{(u_3 + v_3^s)} \quad (16)$$

обеспечивают выполнение условия (4).

Пример. Были проведены численные расчеты на компьютере при следующих значениях параметров (таблица 1):

Таблица 1. Значения параметров для трехсекторной экономической модели

I	α_i	β_i	λ_i	A_i	s_i^*	θ_i^*	k_i^*
0	0.46	0.39	0.05	6.19	0.2763	0.3944	966.4430
1	0.68	0.29	0.05	1.35	0.4476	0.2562	2410.1455
2	0.49	0.52	0.05	2.71	0.2761	0.3494	1090.1238

Решается задача оптимального управления для значений начального состояния системы $y(t_0)$, которые заданы в следующем виде:

$$y(t_0) = (-700, -300, 300)^*, \quad (29)$$

а матрицы R , Q_1 , K_T имеют вид:

$$R = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix}, \quad Q_1 = \begin{pmatrix} 16 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 8 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 8 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix},$$

$$K_T = \begin{pmatrix} 0.2033 \cdot 10^{-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0.1094 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0.1090 \cdot 10^{-2} \end{pmatrix}$$

Результаты расчетов состояния системы представлены на рисунке 1(а). Из рисунка 1(б) видно, что оптимальные управления не выходят за пределы области U , определяемой ограничениями. Для рассматриваемого примера эти ограничения имеют вид:

$$-0.41 \leq u_1 \leq 0.4524, \quad -0.41 \leq u_2 \leq 0.49, \quad -0.41 \leq u_3 \leq 0.49. \quad (38)$$

Здесь компоненты управления $u_1(t)$ и $u_3(t)$ лежат на границе области U в интервале времени $[0, t_1]$ и $[0, t_2]$ соответственно, затем при $t \in (t_1, \infty]$, $t \in (t_2, \infty]$ заходят во внутрь области U . Переключение управлений происходит в момент времени $t_1 = 0.91$ для компонента $u_1(t)$, а для $u_3(t)$ при $t_2 = 2.18$.

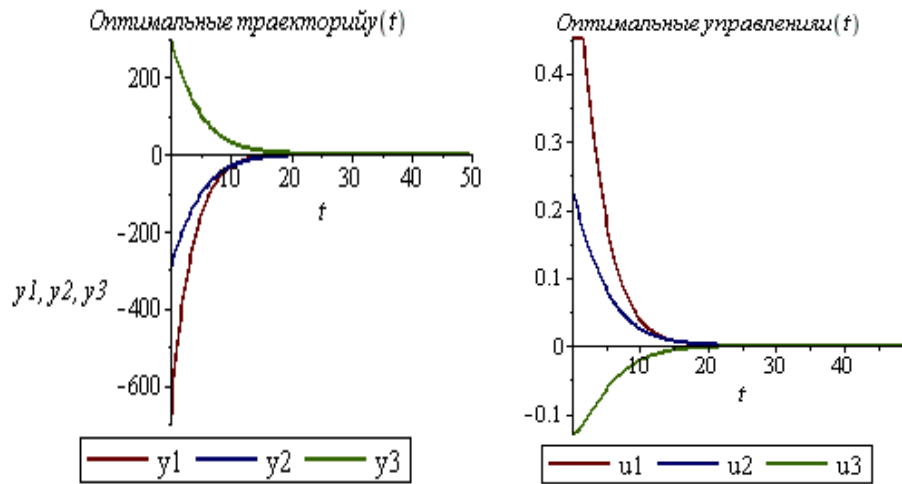


Рис. 1. Графики траекторий $y(t)$ и оптимального управления $u(t)$

Используя формулы (19)-(21) определены оптимальное распределение трудовых ($\theta_1(t), \theta_2(t), \theta_3(t)$) и инвестиционных ресурсов ($s_1(t), s_2(t), s_3(t)$). На рисунке 2 показаны изменения ресурсов, которые удовлетворяют балансовым соотношениям (3)-(5).

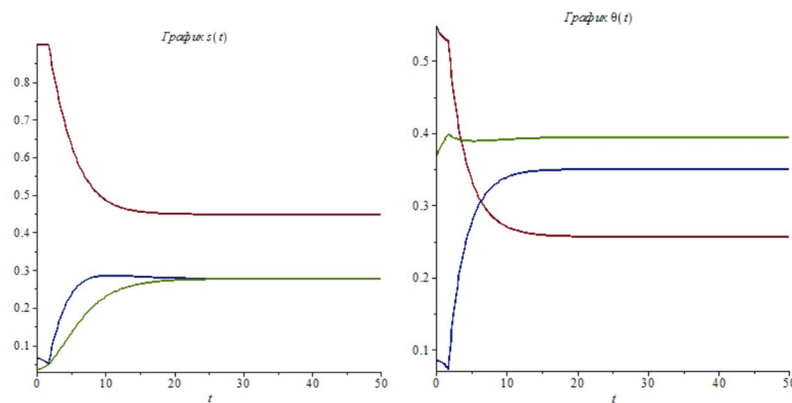


Рис. 2. Графики оптимального распределения инвестиционных и трудовых ресурсов для балансовых соотношений (3)-(5)

Выводы. Разработан алгоритм решения задачи оптимальной стабилизации и найдено нелинейное управление, основанное по принципу обратной связи на основе уравнений Риккати. Особенностью предложенного подхода является достаточная гибкость, обусловленная способом преобразования исходной нелинейной системы к виду линейному по управлению и с коэффициентами, зависящими от состояния системы. А также выбором критерия, по которому построенное управление обладает некоторой оптимальностью, и положение равновесия в замкнутой системе

асимптотически устойчиво по Ляпунову. Управляющие параметры (19)-(21) выбираются таким образом, чтобы были выполнены ограничения на управления и балансовые соотношения (3)-(5). Полученные результаты для нелинейных систем, используются при конструировании управляющих параметров для математической модели трехсекторного экономического кластера. Для рассматриваемого примера определены оптимальное распределение трудовых и инвестиционных ресурсов, которые удовлетворяют балансовым соотношениям. На рисунках 1 и 2 показаны оптимальные траектории и управления, удовлетворяющие заданным ограничениям.

Литература

1. Афанасьев А.П., Дзюба С.М., Емельянова И.И. Оптимальное управление с обратной связью одним классом нелинейных систем по квадратичному критерию // Вестник ТГУ. – 2015. – № 20(5). – С. 1024-1033.
2. Лобанов С.М., Затылкин В. В., Малонга О. Ш. Построение оптимального управления одним классом нелинейных систем по квадратичному критерию // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 3. – С. 54-58.
3. Дмитриев М. Г., Макаров Д. А. Гладкий нелинейный регулятор в слабо нелинейной системе управления с коэффициентами, зависящими от состояния // Труды ИСА РАН. – 2014. – № 64(4). – С. 53-58.
4. Афанасьев В. Н., Орлов П. В. Субоптимальное управление нелинейным объектом, линеаризуемым обратной связью // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2011. – № 3. – С. 13-22.
5. Kolemeyev, V.A.: Economic-mathematical modeling (in Russian), UNITY, Moscow (2005).
6. Aseev, S. M., Besov, K. O., Kryazhimskii, A.V.: Infinite-horizon optimal control problems in economics. Russian Math. Surveys 67(2), 195-253 (2012).
7. Murzabekov Z., Milosz M. and Tussupova K. Modeling and optimization of the production cluster // Proceedings of 36th International Conference on Information Systems and Architecture and Technology – ISAT-2015 / Part II, Advances in Intelligent Systems and Computing. – Karpacz, 2016. – P. 99–108.
8. Klamka, J.: Constrained controllability of dynamics systems. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science 9(2), 231-244 (1999).
9. Aipanov, Sh., Murzabekov, Z.: Analytical solution of a linear quadratic optimal control problem with control value constraints. Computer and Systems Sciences International 53(1), 84-91 (2014).
10. Murzabekov, Z., Milosz, M. and Tussupova, K.: The optimal control problem with fixed-end trajectories for a three-sector economic model of a cluster. Intelligent Information and Database Systems, ACIIDS 2018, 382–391 (2018).

О ПОСТРОЕНИИ МНОЖЕСТВА ФУНКЦИЙ СРАВНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Тлеубергенов М.И., Василина Г.К.

*Институт математики и математического моделирования, Казахстан
Алматинский Университет энергетики и связи, Казахстан
e-mail: marat207@mail.ru, v_gulmira@mail.ru*

Аннотация. *Строится множество стохастических дифференциальных уравнений Ито первого порядка и множество функций сравнения, относительно которых имеет место устойчивость по вероятности заданного программного движения.*

Введение. В настоящее время известны возможные постановки обратных задач дифференциальных систем и достаточно полно разработаны общие методы решения этих задач в классе обыкновенных дифференциальных уравнений [1-14 и др.].

Важным требованием в теории обратных задач дифференциальных систем, которое связано с работоспособностью системы и ее неподатливостью к возмущениям, является требование устойчивости заданных свойств движения [5], поэтому решение задачи устойчивости программного движения имеет существенное значение для дальнейшего развития качественной теории обратных задач дифференциальных систем и теории построения систем программного движения.

В теории устойчивости возможные возмущенные движения материальной системы сравниваются с невозмущенным движением по отношению к соответствующим значениям заданных кинематических показателей движения в каждый момент времени $t \geq t_0$. При этом предполагается, что кинематические показатели движения могут быть описаны вектор-функцией $Q(y, t)$, называемой функцией сравнения и заданной в некоторой области пространства $G(y_1, \dots, y_n)$ изменения фазовых координат рассматриваемой системы. Исследование устойчивости невозмущенного движения сводится к установлению поведения разности значений этой вектор-функции соответственно на возможных возмущенных и на невозмущенных движениях системы

$$x = Q_{в/д} - Q_{н/д} \quad (0.1)$$

при всех $t \geq t_0$. В задачах построения устойчивых систем искомые параметры системы и дополнительные управляющие силы также определяются из условий, наложенных на эту разность. В установившихся постановках задач устойчивости

функции сравнения являются заданными, так же, как и невозмущенное движение и уравнения движения рассматриваемой материальной системы. Таким образом, решение задачи устойчивости сводится к определению условий устойчивости заданного движения рассматриваемой системы по отношению к заданным функциям сравнения. Однако во многих задачах теории устойчивости является полезным задача построения самих функций сравнения, по отношению к которым имеется устойчивость заданных свойств движения механической системы.

А.С. Галиуллиным была поставлена следующая одна из обратных задач динамики, а именно, задача построения множества функций сравнения в классе обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) [1-3]. Приведем постановку этой задачи и ее решение в классе ОДУ [1]. По заданному закону движения

$$\Lambda : y = \phi(t), \quad y \in R^n, \quad \phi \in C^1 \{t \geq t_0\}, \quad (0.2)$$

построить соответствующее множество уравнений движения материальной системы

$$\dot{y} = Y(y, t), \quad (0.3)$$

в классе уравнений, допускающих для начальных условий $y|_{t=t_0} = \phi(t_0)$, $\{t_0, \phi(t_0)\}$ существование единственного решения (0.3) и множество n -мерных вектор-функций $Q(y)$, голоморфных в некоторой ε -окрестности $\Lambda_\varepsilon = \{\|y - \phi(t)\| < \varepsilon\}$ интегрального многообразия $\Lambda(t)$ (0.2) при всех $t \geq t_0$, по отношению к составляющим которых имеется устойчивость в смысле Ляпунова.

Поставленная задача построения множества функций сравнения решается в [1-3] методом характеристических чисел Ляпунова. Решение указанной задачи определяет совокупность кинематических показателей движения (условия, наложенные на них), по отношению к которым заданные свойства движения рассматриваемой системы устойчивы.

Множество уравнений движения системы, для которой заданное движение (0.2) является одним из возможных, строится в виде

$$\dot{y} = \dot{\phi}(t) + \Phi(y, t), \quad (0.4)$$

где $\Phi(y, t)$ – некоторая голоморфная в области Λ_ε при $t \geq t_0$ вектор-функция, удовлетворяющая условию $\Phi(y, t)|_{y=\phi(t)} = 0$. Далее составляется уравнение возмущенного движения первого приближения относительно вектор-функции $Q(y)$. С помощью некоторого линейного преобразования уравнение возмущенного движения приводится к системе линейных дифференциальных уравнений. Требуется чтобы полученная система была правильной, и чтобы ее

характеристичные числа были положительными. Тогда, если примененное линейное преобразование является ляпуновским, то имеется устойчивость заданного движения (0.2) относительно вектор-функции $Q(y)$. Множество искомым составляющих вектор-функций $Q(y)$, следуя [3], определяется из следующих условий:

$\mathcal{L}, \dot{\mathcal{L}}$ ограничены,

$$\det \mathcal{L}^{-1} \neq 0 \text{ при всех } t \geq t_0,$$

где $\mathcal{L} = \|\psi_v^i\|_n^n, \psi_v^i = \frac{\partial Q_i(y)}{\partial y_v} \Big|_{y=\phi(t)}, i, v = 1, \dots, n.$

Известный ученый Ричард Беллман в Предисловии книги Дж. Адомиана «Стохастические системы» (М.: Мир, 1987) подчеркивает: «Очень важно решить, какую модель строить: детерминированную или стохастическую. Детерминированные модели весьма полезны, однако стохастические модели более реалистичны. Трудность заключается в том, что анализ стохастических моделей математическими средствами очень сложен».

Стохастические дифференциальные уравнения типа Ито описывают многочисленные и важные в приложении модели механических систем, учитывающие воздействие внешних случайных сил, в частности, движение искусственного спутника Земли под действием сил тяготения и аэродинамических сил [15], или флуктуационный дрейф тяжелого гироскопа в кардановом подвесе [16] и многие другие.

В качестве примера, показывающим важность учета случайных возмущений, можно привести, в частности, обратную задачу динамики полета космического аппарата. Например, аэродинамические моменты космического аппарата всегда имеют случайные компоненты [15], порожденные флуктуациями плотности атмосферы планеты. Кроме того, случайные изменения моментов инерции вызывают термоупругие колебания стабилизирующих стержней, колебания жидкостей в банках, антенн и панелей солнечных батарей. И исследование влияния случайных возмущений на динамику космического аппарата настолько важно, что игнорирование этих возмущений может существенно сократить срок эксплуатации космического аппарата [17].

Рассмотрим далее, поставленную в классе обыкновенных дифференциальных уравнений задачу [1-3] в вероятностной постановке, а именно при дополнительном предположении о наличии случайных возмущений.

1. Задача построения множества функций сравнения в классе стохастических дифференциальных уравнений. По заданной программе движения

$$\Lambda : \lambda \equiv y - \varphi(t) = 0, y \in R^n, \varphi \in C^1, \|\varphi\| \leq l, \quad (1.1)$$

построить соответствующее множество уравнений движения материальной системы

$$\dot{y} = Y(y, t) + \sigma(y, t)\dot{\xi}, \quad \xi \in R^k, \quad (1.2)$$

в классе уравнений, допускающих для начальных условий $y|_{t=t_0} = \varphi(t_0)$ существование единственного до стохастической эквивалентности решения уравнения (1.2) и множество n -мерных вектор-функций $Q(y)$, голоморфных в некоторой ε -окрестности $\Lambda_\varepsilon = \{ \|y - \varphi(t)\| < \varepsilon \}$ интегрального многообразия Λ (1.1) при всех $t \geq t_0$, по отношению к составляющим которых имеется устойчивость по вероятности.

Уравнение возмущённого движения материальной системы, для которой заданное движение (2.1) является возможным, может быть, следуя [3], представлено в виде

$$\dot{\lambda} = A(\lambda; y, t) + B(\lambda; y, t)\dot{\xi}, \quad (1.3)$$

где $A(\lambda; y, t)$ - вектор-функция, $B(\lambda; y, t)$ - $n \times k$ матрица типа Еругина, удовлетворяющие условиям $A(0; y, t) \equiv 0$, $B(0; y, t) \equiv 0$.

Определение 1. Функция $a(r)$ называется функцией класса Хана, $a(r) \in K$, если она – непрерывна, строго возрастающая и удовлетворяет условию $a(0) = 0$.

Определение 2 [18]. Программное многообразие Λ (1.1) уравнения (1.2) называется ρ -устойчивым по вероятности, если

$$\lim_{\rho(y_0, \Lambda(t_0)) \rightarrow 0} P_{x_0} \{ \sup_{t > 0} \rho(y^{y_0, t_0}(t), \Lambda(t) > \varepsilon) \} = 0.$$

Теорема. Если в окрестности интегрального многообразия Λ_ε существует функция Ляпунова $V(\lambda; y, t)$ со свойствами

$$a(\|\lambda\|) \leq V(\lambda; y, t) \leq b(\|\lambda\|), \quad a, b \in K, \quad (1.4)$$

$$LV \leq -c(\|\lambda\|), \quad c \in K, \quad (1.5)$$

то программное движение $\lambda \equiv y - \varphi(t) = 0$ системы (1.3) асимптотически ρ -устойчиво по вероятности относительно произвольной s - мерной вектор-функции $Q(y)$, непрерывной в окрестности Λ_ε , $1 \leq s \leq n$.

Доказательство. По определению Q -устойчивости [1] рассмотрим разность $x = Q(y) - Q(\varphi(t))$. По условию теоремы существует функция Ляпунова $V(\lambda; y, t)$ со свойствами (1.4), (1.5), что обеспечивает асимптотическую по вероятности ρ -устойчивость программного движения $\lambda = 0$ [17], то есть

$$\lim_{\rho(y_0, \Lambda(t_0)) \rightarrow 0} P_{y_0} \left\{ \limsup_{t \rightarrow \infty} \rho(y^{y_0, t_0}(t), \Lambda(t)) = 0 \right\} = 1, \quad (1.6)$$

и из непрерывности вектор-функции $Q(y)$ и условия (1.6) следует

$$\lim_{\rho(y_0, \Lambda(t_0)) \rightarrow 0} P_{y_0} \left\{ \limsup_{t \rightarrow \infty} \|Q(y(t, t_0, y_0)) - Q(\varphi(t))\| = 0 \right\} = 1,$$

что означает асимптотическую устойчивость движения $\lambda \equiv y - \varphi(t) = 0$ системы (1.3) относительно вектор-функции $Q(y)$.

Литература

1. Галиуллин А.С. Задачи построения функций сравнения в теории устойчивости движения // Дифференциальные уравнения. – 1974. – Т. 10, № 8. – С. 1527-1529.
2. Галиуллин А.С. Обратные задачи динамики. М., 1981. 144 с.
3. Галиуллин А.С. Методы решения обратных задач динамики. - М., 1986. - 224 с.
4. Галиуллин А.С. Системы Гельмгольца. - М., 1995. - 86 с.
5. Галиуллин А.С. Избранные труды в двух томах. Т. I и Т. II. - М.: РУДН, 2009. - 462 с.
6. Мухарлямов Р.Г. О построении систем дифференциальных уравнений движения механических систем // Дифференциальные уравнения. - М., 2003. - Т. 39. - 3. - С. 343-353.
7. Мухарлямов Р.Г. Обратные задачи и уравнения динамики систем различной физической природы // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. - 2006. - № 38. - С. 87-103.
8. Mukharlyamov R.G. Reduction of dynamical equations for the systems with constraints to given structure // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 71(2007).- Elsevier. - P.361-370.
9. Ибушева О. В., Мухарлямов Р. Г. Построение неавтономной системы дифференциальных уравнений по заданной совокупности частных интегралов в

многомерном пространстве // Ученые записки Казан. гос. ун-та. Сер. физ.-матем. науки, 150:3 (2008), 133-139.

10. Mukharlyamov R.G. Differential-algebraic equations of programmed motions of Lagrangian dynamical systems // Mechanics of Solids. - 2011. - Т. 46. - № 4. - С. 534-543.

11. Llibre J., Ramirez R. Inverse Problems in Ordinary Differential Equations and Applications. - Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 266 pp.

12. Киргизбаев Ж.К., Мухарлямов Р.Г. Управление угловыми движениями тела переменной массы с маховиками // Дифференциальные уравнения и обратные задачи динамики. - М., 1983. - С.3-6.

13. Киргизбаев Ж.К., Мухарлямов Р.Г. Управление угловыми движениями тела переменной массы с помощью гироскопов // Дифференциальные уравнения и обратные задачи динамики. - М., 1983. - С.7-15.

14. Мухарлямов Р.Г., Киргизбаев Ж.К. Управление программным движением и обратные задачи динамики систем с переменной массой. - Шымкент, 2008. -180 с.

15. Сагиров П. Стохастические методы в динамике спутников // Механика. Период. сб. переводов иностр. статей. М., 1974. № 5(147). - С.28-47. - 1974. - № 6(148). - С.3-38.

16. Демин В.Г. Движение искусственного спутника в нецентральной поле тяготения. -М., 1968. - 352 с.

17. Сеницын И.Н. О флуктуациях гироскопа в кардановом подвесе // Известия АН СССР. Механика твердого тела. –М., 1976. - № 3. - С.23 - 31.

18. Хасьминский Р.З. Устойчивость систем дифференциальных уравнений при случайных возмущениях их параметров. - М., 1969. - 368 с.

УДК 681.7

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

**Утепбергенов И.Т.^{1,2}, Калижанова А.У.^{1,2},
Юсупова Г.М.³, Аннабаев А.С.⁴, Кутгыбаева А.Е.³,
Арсланова С.З.¹, Кожасбаева А.^{1,5}**

¹*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан*

²*Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан*

³*Университет Сатпаева, Казахстан*

⁴Астана Транстелеком, Казахстан

⁵Казахский национальный университет имени аль-Фараби
e-mail: i.utepbergenov@gmail.com, kalizhanova_aliya@mail.ru,
gulbahar68@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен принцип работы и свойства волоконно-оптических решеток Брэгга с аналитическим описанием отражательной способности сетки в виде функций от длины и сетки длин волн. В статье также дано обоснование метода матрицы перехода теории связанных мод с введение двух счетчиков полос сетки для распространения волны в ядре оптического волокна для моделирования волоконно-оптической решетки Брэгга. Приведена матрица перехода T 2×2 для описания отношений между электрическим полем распространяющейся амплитуды для равномерной решетки с периодическими колебаниями вдоль длины L , являющаяся моделью брэгговских решеток в среде разработки MATLAB. С помощью метода матрицы перехода Transfer Matrix Method (TMM) показана зависимость характеристик спектральной отражательной способности брэгговских решеток от длины решетки и от локальных изменений показателя преломления сердцевины волокна.

Ключевые слова: брэгговские решетки, оптическое волокно, хроматическая дисперсия, преломление сердцевины, модуляция, моделирование.

Введение. Волоконные брэгговские решетки обладают уникальными свойствами и простыми фильтрующими элементами трактов передачи волокон связи, поэтому нашли множество применений и становятся все более распространенными в технологии передачи. Они могут быть использованы в качестве узкополосного оптического резервуара полосового фильтра, например, как при конфигурировании оптических ответвителей, или циркуляторами полосового фильтра, используемого, в частности, в технике Wavelength Division Multiplexing (WDM-спектральное уплотнение каналов) для мультиплексирования и демультимплексирования по длине волны. Изменение решетки Chirped Fiber Bragg Grating (CFBG) в расположении оптических циркуляторов используется в оптических сетях для компенсации хроматической дисперсии, так что следует рассмотреть принцип их работы и исследовать влияние режимов передачи оптического сигнала на улучшение свойств отражения и компенсации [1].

При изменениях в брэгговских решетках период распределения вдоль решетки становится функцией, то есть глубина распространения света в решетке становится функцией длины волны света (рисунок 1) [2], [3]. Это приводит к увеличению спектральной реакции, так как различные длины волн отражаются на различных глубинах в сети.

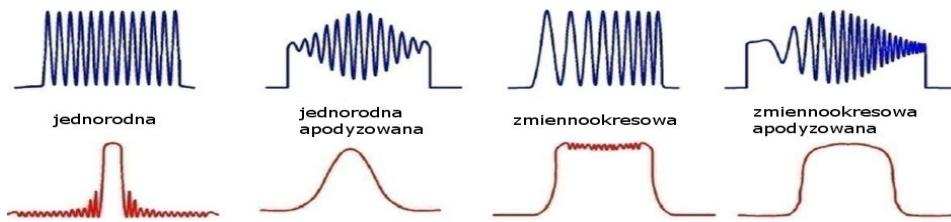
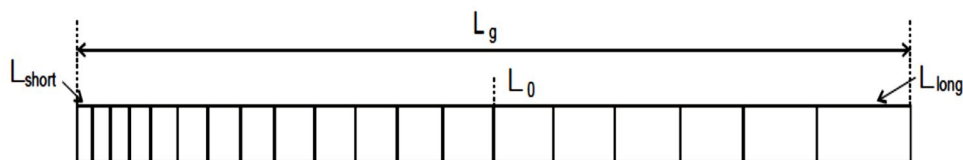


Рис. 1. Различные виды брэгговских решеток, в зависимости от распределения показателя преломления сердцевины (вверху) и соответствующие спектральные отражательные способности (внизу)

$$\Delta\lambda_{chrip} = 2n_{eff}(\lambda_{long} - \lambda_{short}) = 2n_{eff}\Delta\lambda_{chrip}. \quad (1)$$

Ширина сетки для длины L будет выглядеть так (рис.2) [4]:



$$\Delta\lambda_{chrip} = \lambda_{long} - \lambda_{short}$$

Рис. 2. Изменение решеток Брэгга

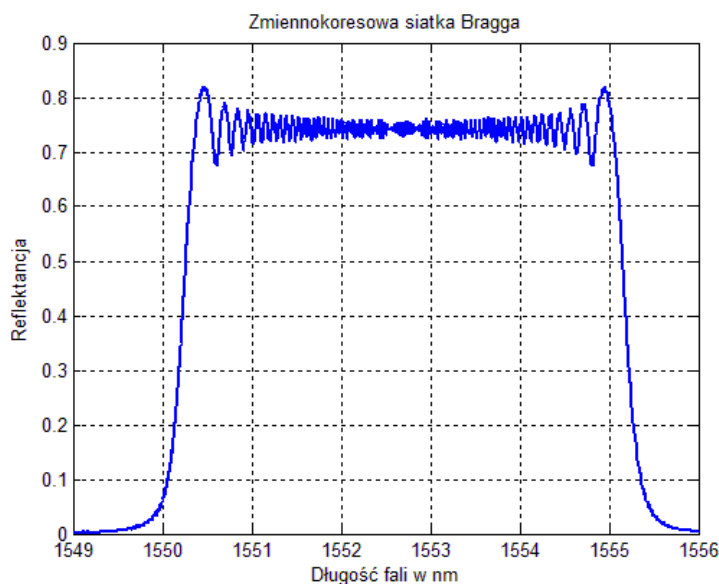


Рис. 3. Примеры спектра отражения переменной брэгговских решеток

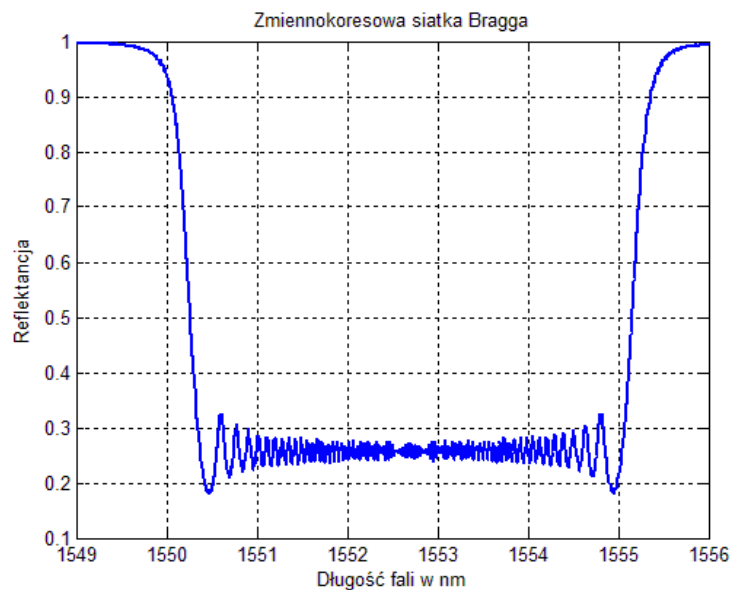


Рис. 4. Примеры широкополосного спектра переменной брэгговских решеток

Линейная частотная модуляция (ЛЧМ), перегон раскола светового пучка, учитывает максимальную задержку $2L/v_g$, в зависимости от длины волны. Этот эффект используется в волоконно-оптических системах для компенсации хроматической дисперсии. Хроматическая дисперсия осуществляется локальным изменением показателя преломления в сердцевине волокна в зависимости от длины волны. Так как импульс расширяется при различных длинах волн, компонент будет испытывать задержку, даже если преодолевает тот же путь (длина волны зависит от групповой задержки каждого режима). Изменения брэгговской решетки также полезны в качестве систем DWDM, где необходимо контролировать формы коротких импульсов в волоконных лазерах.

Методы моделирования спектров. Есть два стандартных метода моделирования изменения спектров пропускания и отражения для волокна. Первый из них использует теорию связанных мод, но это довольно сложно и проблематично в реализации среды разработки. Второй способ представляет собой способ тонких слоев [5]. В этом методе предполагается, что волоконная брэгговская решетка состоит из тонких диэлектрических поверхностей различных оптических параметров. Затем расчет выполняется для каждого из слоев. Это позволяет рассчитать для передачи волоконных брэгговских решеток практически любые распределения показателя преломления сердцевины, кроме того, легче осуществим.

Распространение света через каждый из слоев представлено следующей матрицей [6]:

$$F_i^B = \begin{bmatrix} \cos h \gamma_B \Delta z - i \frac{\hat{\sigma}}{\gamma_B} \sin h(\gamma_B \Delta z) & -i \frac{\kappa}{\gamma_B} \sin h(\gamma_B \Delta z) \\ i \frac{\kappa}{\gamma_B} \sin h(\gamma_B \Delta z) & \cos h(\gamma_B \Delta z) + i \frac{\hat{\sigma}}{\gamma_B} \sin h(\gamma_B \Delta z) \end{bmatrix} \quad (3)$$

где: $\hat{\sigma}$ - суммарный коэффициент связи (Common DC- coupling self-diffusion coefficient);

κ -составная связь переменной обратного фактора (AC- coupling coefficient), которая пока является длиной;

i - секции решетки, для которой параметр вычисляется из образца:

$$\gamma_B = \sqrt{\kappa^2 - \hat{\sigma}^2}, \quad (4)$$

а коэффициенты $\hat{\sigma}$ и κ также соответствуют фрагменту i -ой брэгговской решетки

$$\kappa = \frac{\pi}{\lambda} \overline{v \delta n_{eff}}, \quad (5)$$

где:

v - контраст (visibility) полосы решетки (индекс контрастности преломления)

$\overline{\delta n_{eff}}$ - изменение постоянной составляющей показателя преломления, усредненное по площади периодов решетки (change in the index DC spatially averaged over the period of the grating)

и:

$$\hat{\sigma} \equiv \sigma + \delta - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \quad (6)$$

где ϕ представляет собой параметр, описывающий ЛЧМ решетку.

В свою очередь, параметр настройки δ (англ.: detuning) и постоянное отношение связи, усредненное по периоду решетки, рассчитывается с использованием следующих формул (an averaged coefficient of over the period of a DC):

$$\delta = 2\pi n_{eff} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_D} \right), \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{2\pi}{\lambda} \overline{\delta n_{eff}}, \quad (8)$$

где: $\lambda_D = 2n_{eff}\Lambda$ - брэгг длина волны, n_{eff} - эффективный показатель преломления.

Когда решетка равномерна по всей длине параметров, κ , σ , $\hat{\sigma}$ являются фиксированными и $\frac{d\phi}{dz} = 0$. Спектральный отклик решетки n_{eff} фиксирован по всей длине локальных максимумов с обеих сторон. Оставшиеся после боковых полос отражения могут быть сглажены аподизацией, т.е. плавным изменением

амплитуды модуляции наведенного показателя преломления в решетке по ее длине.

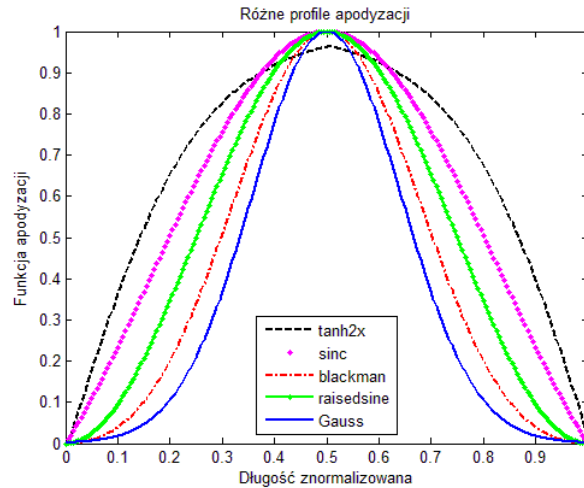


Рис. 5. Примеры функций аподизации эталонной длины

- Гаусс

$$f(z) = \exp \left\{ -\ln 2 \left[\frac{2 \left(z - \frac{L}{2} \right)}{FWHM} \right]^2 \right\},$$

$$0 \leq z \leq L, FWHM = L/3; \quad (9)$$

- Поднятый синус:

$$f(z) = \sin^2 \left(\frac{\pi z}{L} \right); \quad (10)$$

- Синус

$$f(z) = \operatorname{sinc} \left(\left| \frac{2 \left(z - \frac{L}{2} \right)}{L} \right| \right), 0 \leq z \leq L; \quad (11)$$

- Тангенс

$$f(z) = \tanh \left(\frac{2az}{L} \right), 0 \leq z \leq \frac{L}{2}; \quad (12)$$

- Блэкман

$$f(z) = \frac{1 + 1.19 \cos(x) + 0.19 \cos(2x)}{2.38} \quad (13)$$

Для аподизированной фиксированным значением n_{eff} решетки из $\frac{d\phi}{dz} = 0$, и $\sigma = 0$ как $\overline{\delta n_{eff}} \rightarrow 0$ и: $\kappa = f(z)$, $\hat{\sigma} = f(z)$, $v\overline{\delta n_{eff}} = f(z)$.

В решетке моделирования переменная изменения значения n_{eff} также может быть принята во внимание $\overline{\delta n_{eff}} = f(z)$.

Волоконно-решетки CFBG часто создаются с помощью гауссова лазерного луча с гауссовским профилем (рис 6), который может быть представлен [6]:

$$\delta n_{eff}(z) = \delta n_{eff} \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \left[\frac{2 \left(z - \frac{L}{2} \right)}{FWHM} \right]^2 \right\}. \quad (14)$$

Полувысота равна полуширине профиля решетки и, как правило, при аподизации предполагается, что длина сетки в три раза больше полувысоты. Тем не менее, численным моделированием в случае гауссова профиля аподизации, можно получить лучшие результаты путем принятия $FWHM = 0.4 \cdot L$ [6].

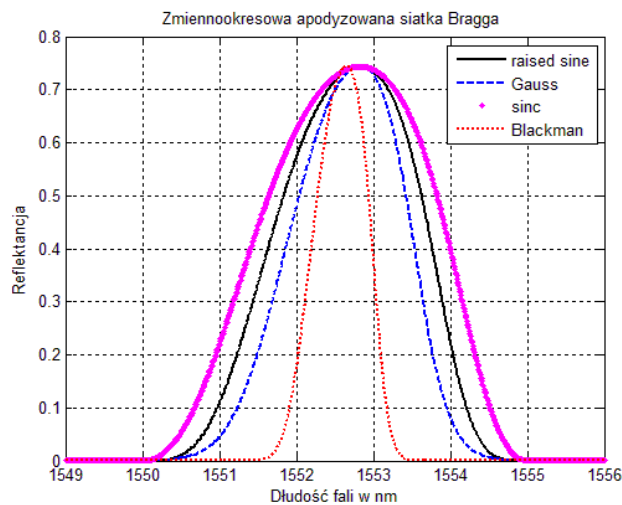


Рис.6. Примеры спектра отражения брэгговских решеток, аподизированных выбранными профилями (результаты основаны на модели, выполненной в среде MATLAB)

Функция аподизации и правильный подбор ее параметров оказывает существенное влияние на отражательные свойства и компенсации брэгговских решеток. Аподизация используется для сглаживания боковых полос спектра отражательной способности, что приводит к уменьшению дисперсии, но это менее важно, чем амплитуда сигнала, отраженного от аподизированных решеток Брэгга. Поэтому оптимальный профиль аподизации должен иметь подходящее отношение

максимальной амплитуды, сглаживающий боковые полосы и максимальной отражательной способности. То есть, выбор подходящей функции аподизации может существенно изменить характеристики отраженного светового сигнала. Влияние компенсирует дисперсию и снижает стоимость производства решетки. Чем больше решетка ЛЧМ, как правило, больше ее влияние, и, следовательно, более трудно реализовать, что повышает цену такого решения. На практике решетка составляет от нескольких мм до нескольких см. Поэтому разумно обдумывание между выбором аподизации и выбором соответствующих параметров для управления этой функцией для получения оптимальных результатов.

Представленные Шермин А. Шер-Хана и Мэриленд. С. Ислам [7] профили аподизации были проанализированы путем выбора функции аподизации и параметров этих элементов управления для того, чтобы улучшить качество отражательной способности брэгговских решеток. Функции аподизации принимают следующий вид [7]:

– Тангенс

$$T(z) = 1 + \tanh \left[T \left(1 - 2 \left(\frac{z}{L_g} \right)^\alpha \right) \right]; \quad (15)$$

– Хэмминга

$$T(z) = \frac{1 + H \cos \left(\frac{2\lambda z}{l} \right)}{1 + H} \quad (16)$$

– Гаусс

$$T(z) = \exp \left[-G \left(\frac{z}{L_g} \right)^2 \right]; \quad (17)$$

– Косинус

$$T(z) = \cos^A \left(\frac{\pi}{L_g} z \right); \quad (18)$$

– Коши

$$T(z) = \frac{1 - \left(\frac{2z}{L_g} \right)^2}{1 - \left(\frac{2Bz}{L_g} \right)^2}; \quad (19)$$

– Синус

$$T(z) = \operatorname{sinc}^X \left(\left| \frac{2 \left(z - \frac{L_g}{2} \right)}{L_g} \right|^Y \right). \quad (20)$$

Параметры α, H, G, A, B, X и Y были использованы для поддержания названия профиля аподизации, чтобы получить лучшую узнаваемость, а диапазон выглядит следующим образом: $\alpha, T \in [1, 4]$, $H \in [0.1, 0.9]$, $G \in [2, 15]$, $A \in [0.15, 2]$, $B \in [0.2, 0.95]$, $X, Y \in [1, 4]$. Анализ с помощью моделирования появления спектров отражения показал лучшие коэффициенты отражения решетки CFBG, аподизированные гауссовскими и синусными профилями [7]. В [7] не анализировались свойства компенсации CFBG, аподизированные этими профилями, но в остальной части работы были представлены результаты моделирования брэгговских решеток, аподизированные гауссовскими и синусными профилями, и их влияние на отражательные способности, дисперсии и групповые задержки.

Для моделирования и анализа спектрального коэффициента отражения и дисперсии была построена их математическая модель в среде разработки MATLAB на основе выбранного выше метода моделирования тонких слоев.

Численное моделирование волоконной брэгговской решетки Брэгга (ВБР) в среде MatLab

Ниже представлены результаты моделирования решетки с фиксированным периодом и длиной 2 см без аподизации для узкого диапазона длин волн от 1549 нм до 1556 нм ($\lambda_D = 1550$ нм, $n_{eff} = 1,45$, число секций сетки $M = 200$, $\nu = 1$), которые представлены на рис. 7, 8.

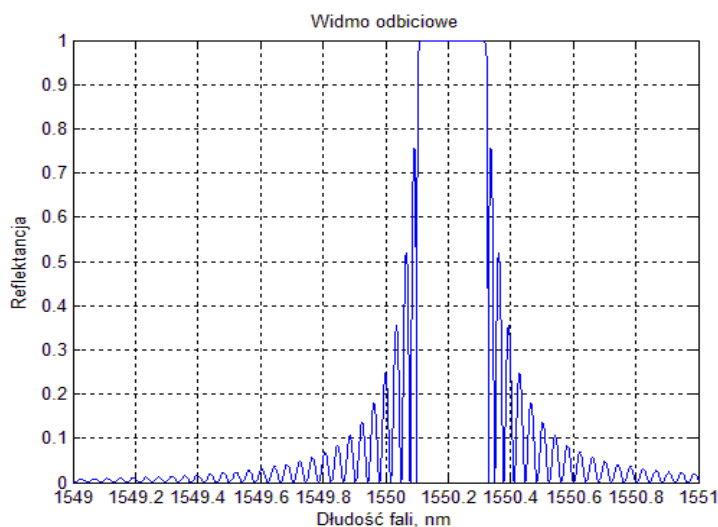


Рис. 7. ВБР спектр отражения решетки с длиной 2 см, $n_{eff}= 1,45$)

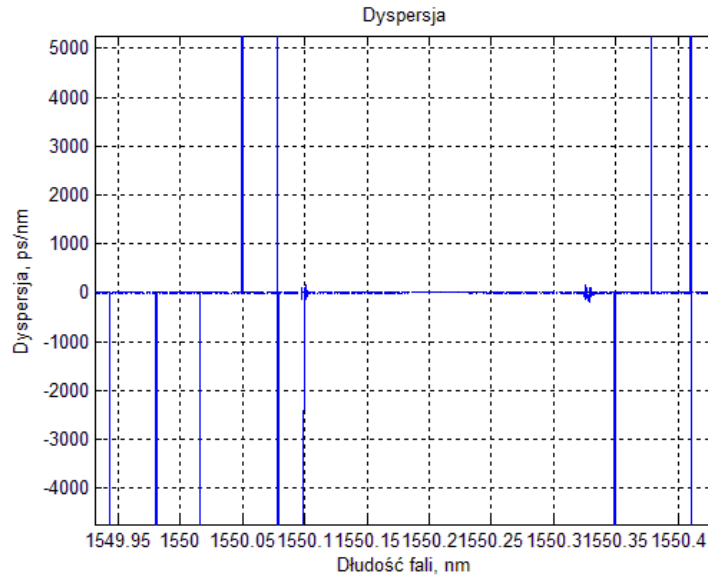


Рис. 8. Дисперсия ВБР Брэгга длина волны вблизи сетки с длиной 2 см, $n_{eff}=1,45$

Влияние аподизации смоделированной брэгговской решетки составляет 100%, поэтому решетки можно назвать сильными. Компенсации дисперсии произошли в непосредственной близости от длин волн Брэгга.

Для тех же параметров решетки, но с введением ЛЧМ, ($\delta n_{eff}=2e-4$, $\phi=0.3e-7$) появление спектральной отражательной способности и дисперсии представлены на рис.9 и 10.

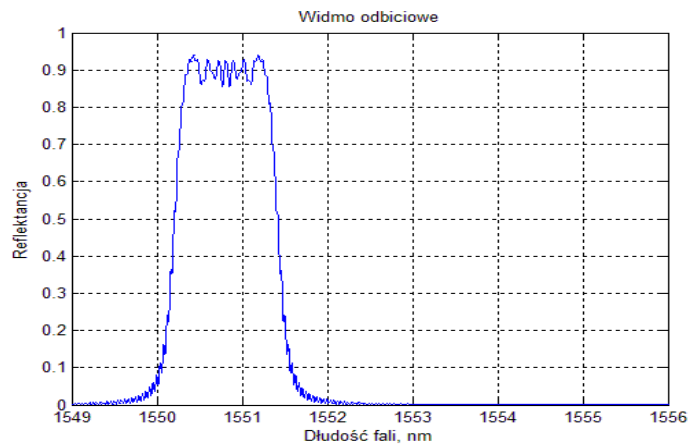


Рис. 9. Спектр отражения CFBG длиной 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.3e-7$

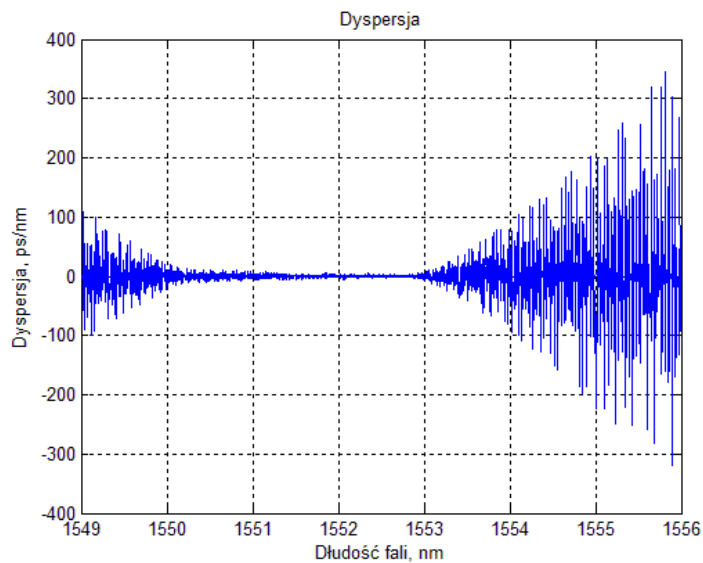


Рис. 10. Дисперсия CFBG длиной 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.7e-7$

Для указанных параметров решетки, но с большим ЛЧМ ($\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.7e-7$) появление спектральной отражательной способности и дисперсии показывают рис.11 и 12.

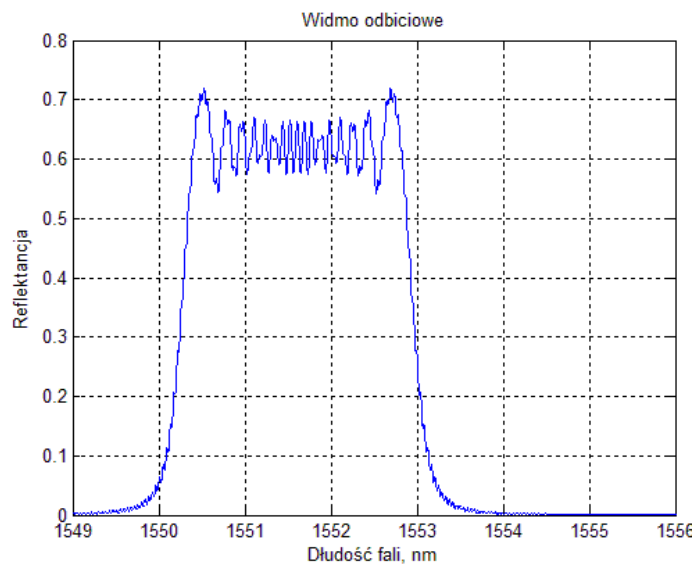


Рис. 11. CFBG спектр отражения длиной 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.7e-7$

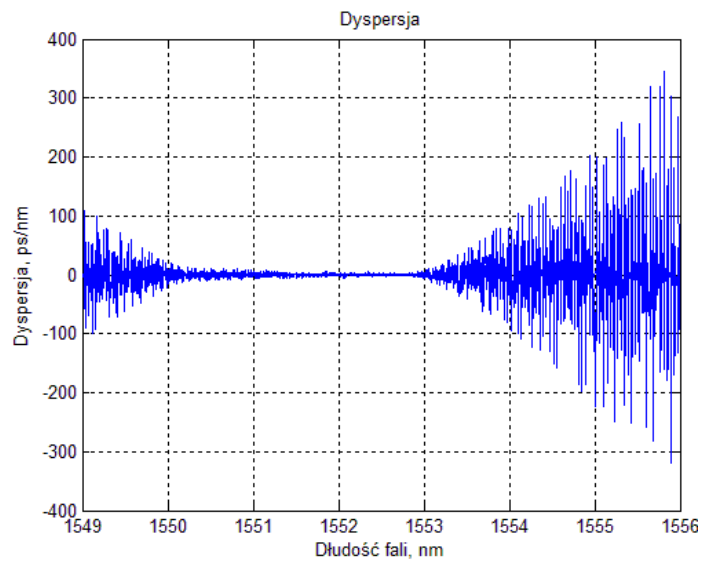


Рис. 12. Дисперсия CFBG 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.7e-7$

Введение большей решетки вызвал повышенный объем отраженных волн на решетках Брэгга. В то же время он уменьшил чистую отражательную способность.

Для тех же параметров решетки ЛЧМ, но с большим изменением постоянной составляющей показателя преломления, усредненного по периодам в области решетки ($\delta n_{eff} = 5e-4$, $\phi = 0.7e-7$), появление спектральной отражательной способности и дисперсии показывают рис.13 и 14.

Заключение

В результате проведенных исследований с использованием моделирования получена зависимость характеристик спектральной отражательной способности брэгговских решеток от длины решетки и от локальных изменений показателя преломления сердцевинки волокна, а также, что указанная спектральная отражательная способность возрастает при увеличении длины решетки.

Результаты математического моделирования в среде MATLAB и проведенного анализа распространения света в структуре волокна брэгговских решеток четко указывают на возможность расширения контрольных значений импульсов времени. Результаты показывают, что можно точно контролировать дисперсионные оболочки в волоконно-оптической линии путем соответствующего выбора параметров аподизации волоконных брэгговских решеток.

Исследования проведены в рамках проекта ГФ №AP05132778 «Исследование и разработка системы интеррогации сигналов с оптоволоконным рефрактометром с использованием телекоммуникационных сетей» ИИВТ КН МОН РК.

Литература

1. Kashyap, R. Fiber Bragg Gratings. San Diego: Academic Press. 1999, p. 315
2. Karim F., Seddiki A. Numerical Analysis of Raised Cosine Sampled Chirped Bragg Grating for Dispersion Compensation in Dense Wavelength Division Multiplexing Systems. Issue 1, Volume 3, 2009 International Journal of Communications, Vol.3 Issue 1/2009, pp.9-16.
3. Kisala P. Periodyczne struktury światłowodowe w optoelektronicznych czujnikach do pomiaru wybranych wielkości nieelektrycznych. Politechnika Lubelska, Lublin 2012.
4. Wynand F. Van Niekerk. Characterization of bragg grating pressure sensor using finite element analysis theory and experimental results. , University of Johannesburg, Johannesburg, 2008, pp. 4-238.
5. Zhao J.: An Object-oriented Simulation Rand Afrikaans University. Johannesburg.2001,pp.1-158.
6. Wang Z., Shen F., Song L., Wang X., Wang A., Multiplexed Fiber Fabry– Pérot Interferometer Sensors Based on Ultrashort Bragg Gratings, “IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS”, 2007 vol. 19, no. 8, s. 622-624.
7. Sher Shermin A. Khan and Md. S. Islam. Determination of the Best Apodization Function and Grating Length of Linearly Chirped Fiber Bragg Grating for Dispersion Compensation . JOURNAL OF COMMUNICATIONS, VOL. 7, NO. 11, 2012 , pp. 840-846

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ИЕРАРХИИ ЧАСТИЧНО УПОРЯДОЧЕННОГО МНОЖЕСТВА

Яворский В.В., Чванова А.О., Сайдрахимов Н.Б.

*Карагандинский государственный индустриальный университет,
Казахстан*

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена задача «систематизации» частично-упорядоченного множества, представленного графом $G(Z, W)$. Предлагается схема метода разбиения графа на многослойную иерархию. Ввиду направленного упорядоченного перебора точек пространства решений задачи, предлагаемая схема решения эффективнее известных дискретных методов, в частности динамического программирования.

Рассматривается задача «разрезания» частично-упорядоченного графа $G(Z, W)$. Эта модель возникает при структурном управлении и сводится к решению задач, связанных с преобразованием G в иерархию [1-10].

Например, пусть граф $G(Z, W)$ задает проект: последовательность выполнения некоторого комплекса работ. Пусть комплекс работ разбит на этапы их выполнения. Подрядчики приступают к выполнению работ, последовательно начиная и завершая определенный этап. Эффективность привлечения исполнителей на выполнение работ задана. Необходимо определить наиболее эффективное разбиение работ на этапы и последовательность привлечения подрядчиков к выполнению работ.

К рассматриваемой модели относятся задачи компоновки объекта (технического изделия, программы, природной среды), задаваемого частично упорядоченным графом по стандартизированным модулям.

Рассматриваемая модель сводится к определению многослойной иерархии $R = (Z_1, Z_2, \dots, Z_L)$ множества вершин графа $G(Z, W)$, при этом максимизируется следующий функционал:

$$\Phi_L(R) = \sum_{\lambda=1}^L \sum_{\zeta \in Z_\lambda} P_\lambda(\zeta). \quad (1)$$

где $P_\lambda(\zeta)$ - величина характеризующая связь элемента сети (вершины либо дуги графа) ζ с λ -м уровнем иерархии.

Если не учитывать сложившуюся структуру связей, задаваемую графом G , то очевидно, что максимум функционала (1) достигается на разбиении $R^* = (Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_L^*)$, которое определяется следующим образом:

$$Z_1^* = \left\{ \zeta \in Z : P_1(\zeta) = \max_{\lambda} P_\lambda(\zeta) \right\},$$

$$Z_{k+1}^* = \left\{ \zeta \in \bar{Z}_k^* : P_{k+1}(\zeta) = \max_{\lambda > k} P_\lambda(\zeta) \right\}, \text{ для } k = 1, 2, \dots, L-1,$$

где $\bar{Z}_k^* = Z \setminus Z_1^* \setminus \dots \setminus Z_k^*$.

Разбиение Z на многослойную иерархию, не нарушающую отношение порядка, задаваемое графом G , существенно усложняет решение поставленной задачи.

Пусть $I^L(G)$ - множество всех разбиений графа G на многослойную иерархию вида R , тогда обозначим

$$f_L(Z) = \max_{R \in I^L(G)} \Phi_L(R).$$

Нетрудно видеть, что $f_L(Z)$ удовлетворяет функциональному уравнению Беллмана:

$$f_L(Z) = \max_{X \subseteq Z; \Theta(X)=X} \left\{ \sum_{\zeta \in X} P_L(\zeta) + f_{L-1}(Z \setminus X) \right\},$$

где $\Theta(X)$ для произвольного подмножества $X \subseteq Z$ есть множество вершин графа G , для которых существует путь из X .

При решении реальных задач определения структур управления, размерность графа G может быть большой, тогда процедура решения задачи методом динамического программирования становится не только неэффективной, но и невозможной. Таким образом, возникает необходимость разработки методов упорядоченного перебора подмножеств $X \subseteq Z$, позволяющих сократить количество вычислительных операций до допустимых для практической реализации пределов.

Предлагается схема метода разбиения ориентированного графа без контуров на многослойную иерархию. Пусть $I^L(G)$ - множество всех иерархий графа G , состоящих из L уровней. Рассматривается задача нахождения иерархии R^* , максимизирующая функционал (1). Введем на множестве $I^L(G)$ отношение порядка: будем считать, что $R^1 \leq R^2$ (R^1 "не выше" R^2), если для $k = 1, 2, \dots, L-1$ имеет место следующее соотношение:

$$\overline{Z}_k^1 \subseteq \overline{Z}_k^2, \text{ где } \overline{Z}_k = Z \setminus Z_1 \setminus \dots \setminus Z_k.$$

Множество $I^L(G)$ является решеткой: любое его подмножество I имеет точную нижнюю - $R' = \min I$ и точную верхнюю - $R'' = \max I$ границы в смысле введенного отношения порядка. Действительно R' и R'' определяются следующим образом:

$$\overline{Z}_k' = \bigcap_{R \in I} \overline{Z}_k, \quad \overline{Z}_k'' = \bigcup_{R \in I} \overline{Z}_k.$$

Нетрудно показать, что для любых $R^1, R^2 \in I^L(G)$ имеет место следующее соотношение:

$$\Phi(R^1) + \Phi(R^2) = \Phi(\min\{R^1, R^2\}) + \Phi(\max\{R^1, R^2\}).$$

Обозначим $I_0^L(G)$ - множество всех оптимальных в смысле критерия (1) разбиений, тогда, если $R^1, R^2 \in I_0^L(G)$, то с учетом оптимальности рассматриваемых иерархий имеет место следующее:

$$\Phi(\min\{R^1, R^2\}) = \Phi(\max\{R^1, R^2\}) = \Phi(R^1) = \Phi(R^2).$$

По индукции получаем, что нижняя и верхняя границы любого подмножества $I_0^L(G)$ также являются оптимальными иерархиями, а значит, множество $I_0^L(G)$ также является решеткой в смысле введенного порядка. Это позволяет использовать следующую схему поиска оптимальной иерархии. Будем искать нижнюю границу множества всех оптимальных иерархий, обозначим ее R^* .

Шаг 1. В качестве начального приближения выбираем иерархию $R^0 = I^L(G)$, такую, что

$$R^* \leq R^0 = I^L(G)$$

Шаг 2. Если построена иерархия R^k , то переход к R^{k+1} осуществляется с помощью оператора $A: R^{k+1} = A(R^k)$, такого что

$$R^* \leq A(R^k) \leq R^k,$$

причем, если $R^* < R^k$, то $R^{k+1} < R^k$.

Шаг 3. Если обнаружится, что $R^{k+1} = R^k$, то задача решена.

Для реализации приведенной алгоритмической схемы рассматривается метод минимальных вариаций условно-оптимальных иерархий $R^*(Z_1)$, оптимизирующих функционал (1) при фиксированном слое Z_1 . Рассмотрим основные свойства множества $I^L(G)$, используемые в данном методе. Прежде всего, можно показать, что для того, чтобы R^* оставалась "не выше" условно-оптимальной иерархии: $R^* \leq R^*(Z_1)$, необходимо и достаточно, чтобы $Z_1 \subseteq Z_1^*$. Это позволяет строить вариации для наращивания слоя Z_1 оставаясь «не выше» оптимальных иерархий. Действительно, среди множества $V(Z_1)$ допустимых вариаций слоя Z_1 иерархии $R^*(Z_1)$, то есть таких $X \in V(Z_1)$, что $R^* \leq R^*(Z_1 \cup X) \leq R^*(Z_1)$, будем выбирать вариацию X' , для которой функционал (1) возрастает:

$$\Phi(R(Z_1 \cup X')) > \Phi(R^*(Z_1))$$

причем, не на одном подмножестве X' это соотношение не выполняется (в этом смысле вариация X' называется минимальной). С учетом введенных понятий оператор A можно определить следующим образом:

$$A(R^k) = \begin{cases} R^k, & \text{если } V(Z_1^k) \text{ не содержит } X' \\ R^*(Z_1^k \cup X'), & \text{где } X' \in V(Z_1^k) \end{cases}.$$

Очевидно, что ввиду направленного упорядоченного перебора точек пространства решений задачи, предлагаемая схема решения эффективнее известных дискретных методов, в частности, динамического программирования.

Литература

1. Дорофеюк А. А. Алгоритмы автоматической классификации (обзор). / А.А. Дорофеюк // Автоматика и телемеханика, 1971. - № 12. - с. 78-113.
2. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. / Н.Г. Загоруйко. - Новосибирск, ИМ им.С.Л. Соболева, 1999. – 268 с.
3. Бородкин С. М. Оптимальная группировка взаимосвязанных упорядоченных объектов / С.М. Бородкин // Автоматика и телемеханика, 1980. - №2. - с. 165–172.
4. Миркин Б. Г. Дискретные задачи классификации взаимосвязанных объектов (обзор). / Б.Г. Миркин // В сб. «Вопросы анализа сложных систем», «Наука», 1974, Новосибирск. - с. 67-77.
5. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. / Н.В. Бурков, В.А. Ириков. - М.: Наука, 1994.- 325с.
6. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. / Д.А. Новиков - М.: ИПУ РАН, 2003. - 102 с.
7. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. / Д.А. Новиков. - М.: ПМСОФТ, 2007.- 144с.
8. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред.чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
9. Акилов Г.П., Кутателадзе С.С. Упорядоченные векторные пространства. / Г.П. Акилов, С.С. Кутателадзе. - Новосибирск: Наука, 1978. –368с.
10. Яворский В.В. Методы структурного моделирования многоуровневых организационных систем. / В.В. Яворский - М.: Энергоатомиздат, 2002.- 168 с.

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

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

BIG DATA NETWORK ANALYSIS USING COLLECTIVELY CLUSTER METHOD

Bissarinov B.Zh.

*Institute of Information and Computational Technologies Committee of Science
Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan
e-mail: bbaituma@gmail.com*

Abstract. *Data analysis is the process of inspecting, cleaning, transforming, and modeling data with the goal of discovering useful information, suggesting conclusions, and supporting decision making.*

Every large company is struggling to find ways to make this data useful. However, this is not an easy task. The amount of data produced makes it very difficult to store, manage, analyze and utilize it.

Keywords: *Data mining, analysis, network, multidimensional, link, cluster, channels, hypothesis, exploratory.*

1. Data mining tasks

Data mining takes two forms. Verification-driven data mining extracts information in the process of validating a hypothesis postulated by a user. Discovery driven data mining uses tools such as symbolic and neural clustering, association discovery, and supervised induction to automatically extract information.

- Once a data warehouse has been developed, the data mining process falls into four basic steps: data selection, data transformation, data mining, and result interpretation.

- Seven operations are associated with data mining: three with verification driven data mining and four with discovery-driven data mining.

- Verification-driven data mining operations. These include query and reporting, multidimensional analysis, and statistical analysis.

- Discovery-driven data mining operations. These include predictive modeling, link analysis, database segmentation, and deviation detection.

- Data mining adopted its techniques from many research areas, including statistics, machine learning, database systems, neural networks, rough sets, and visualization.

Challenges and opportunities:

Growth of communication channels: e-mails (10-20 times/day), messenger (3-4 hours/day), social media (80% of a day) and considering that obtained information is important in its processing [1]. The power of social media is that it is an integrated portal to interact with. Changes on human behavior are information-sharing, experience crowdsourcing, and knowledge cultivation.

2. Research objectives

How to keep the data network running smoothly and qualitatively? How to decide whether to spend resources on launching an innovation or simply a new project? This is a problem, faced by any network administrator and designer. Predicting the outcomes of these decisions is crucial, because right or wrong predictions make the difference between successful and unsuccessful projects. The objective of this research is to explain how to use data flow and channel loading to make these predictions. This is an important opportunity due to the wide availability of information data flow for managerial decisions, which occurred due to the digital revolution. There are a lot of graphical-analytical tools which can ensure a correct operation of a data network. However, they are inefficient in terms of detecting a heavy load on a network in advance. They only indicate the problem when it has already occurred. Therefore, we aim to ensure that we can determine a possibility of a heavy workload in advance and finally provide a continuous network operation.

The paper explains how to frame the problem, and how to formulate hypotheses to predict the outcome of these decisions. It then provides the tools to analyze and interpret the data to support or contradict these predictions, which helps to make better decisions. An important part is where participants use and analyze real data to address concrete managerial problems.

This kind of way of data analysis will never replace entirely the intuition of managers, nevertheless frameworks for making these decisions support and complement good results.

3. Target of the work

The customers for the research are network administrators and managers in medium and large- sized firms, as well as entrepreneurs and managers in data network with a new good design or small firms working in this area. The research is equally valuable to managers in non-profit organizations, governmental institutions, or any similar type of institution or organization. The research requires background in mathematics, particularly in collective clustering analyses. All relevant notions or methods will be explained from very strictly k-mean concepts. The research results will improve the ability of any decision-maker, including those who have limited knowledge of data analysis, to make informed decisions using data.

4. Basic contents

How can data network managers make good decisions? Biases and fallacies are most common pitfalls in managerial decisions. In this case how we can make the single true solution?

Right and simple representation of the decision-making process for innovation can become a leader in contemporary projects. Study of data flow is based on scientific method of collective clustering for using in managerial and innovation decisions.

Not expected rising managerial approaches to decision-making under uncertainty.

In this work, design of network - it's establishment on optimum level of the information exchange channel was considered. Real options, the current level of the application in the data stream without blocking the capabilities of the equipment and network software. Entrepreneurial experimentation to act expeditiously and achieving the expected results.

k-means clustering basic tools for analyzing and interpreting managerial and innovation data, further in the study can be considered of X-means.

In this research work, we'll demonstrate how organizations have been able to support growing data volumes and expanding data breadth for service companies, advanced network data administrators and scientists. Growing changes in data use, distribution and sharing within today's companies. Common data use dimensions and your optimal data transission. Managing the tidal wave of new external source content data. Wide veploying multiple reporting and analytical network application environments.

5. Random variables, probabilities, distributions

The proposed escaping false positives and false negatives in managerial and innovation decisions in the computer networks of data transmission.

Causality in data analysis correlation vs causality in managerial and innovation decisions.

Difference-in-difference analyses using regression analysis to interpret managerial and innovation data.

Verification-driven data-mining operations: These include query and reporting, multidimensional analysis, and statistical analysis. Query and reporting. This operation constitutes the most basic form of decision support and data mining. Its goal is to validate a hypothesis expressed by the user, such as "sales of four-wheel-drive vehicles increase during the winter." Validating a hypothesis through a query-and-reporting operation entails creating a query, or set of queries, that best expresses the stated hypothesis, posing the query to the database, and analyzing the returned data to establish whether it supports or refutes the hypothesis. Each data interpretation or analysis step might lead to additional queries, either new ones or refinements of the initial one. Reports subsequently compiled for distribution throughout an organization contain selected analysis results, presented in graphical, tabular, and textual form, and include a subset of the queries. Because these reports include the queries, analyses can be automatically repeated at predefined times, such as once a month.

Multidimensional analysis. While traditional query and reporting suffices for several types of verification-driven data mining, effective data mining in certain domains requires the creation of very complex queries. These often contain an embedded temporal dimension and may also express change between two stated events. For example, the regional manager of the department store chain might say "Show me weekly sales during the first quarter of 1994 and 1995, for Midwestern stores, broken down by department." Multidimensional databases, often implemented as multidimensional arrays, organize data along predefined dimensions (time or department, for example), have facilities for taking advantage of sparsely populated portions of the multidimensional structure, and provide

specialized languages that facilitate querying long dimensions while expediting query-processing performance. These databases also allow hierarchical organizations of the data along each dimension, with summaries on the higher levels of the hierarchy and the actual data at the lower levels. Quarterly sales might take one level of summarization and monthly sales a second level, with the actual daily sales taking the lowest level of the hierarchy.

Statistical analysis. Simple statistical analysis operations usually execute during both query and reporting, as well as during multidimensional analysis. Verifying more complex hypothesis, however, requires statistical operations (such as principal component analysis regression modeling) coupled with data visualization tools. Several statistical analysis tools (SAS, SPSS, S+) incorporate components that can be used for discovery-driven modeling (such as CHAID in SPSS and S+). To be effective statistical analysis must rest on a methodology, such as exploratory data analysis. A methodology might need to be business or domain dependent, so statistics tools such as SAS and SPS are open ended, providing function libraries that can be organized into larger analysis software systems [2].

Discovery-driven data mining operations: These include predictive modeling, link analysis, database segmentation, and deviation detection. Predictive modeling. This is the most commonly used of the discovery-driven data mining operations, primarily because of the proliferation of automatic model development techniques. (These include symbolic-induction techniques such as CART or C4.5, and neural network techniques such as back propagation.) This operation uses the database records that reflect historical data information about past behavior – to automatically generate a model that can predict the future behavior. For example, an insurance underwriter might want to predict the likelihood that a customer will let her policy lapse. A marketing executive might want to predict whether a particular customer would switch brands for a specific product. The value of discovery-driven modeling techniques, especially symbolic induction techniques, is that the models are expressed as sets of if-then rules, and are therefore comprehensible and explainable.

Database segmentation. It is often necessary to automatically partition a database into collection of related records. Such collections enable users to summarize each database or select a smaller portion of the database on which to apply a different data mining operation such as model creation or link analysis. For example, by segmenting a department stores point off scale data, a user can automatically create segments containing transactions from specific periods, such as back to school days or after Christmas sales.

Link analysis. While the modeling and segmentation operations aim to create the generalized description that characterizes database's contents, link analysis seeks to establish relations between the records in the database. For example, a merchandise buyer must determine what items sell together men's shirts sell together with ties and men's fragrances – so that he can decide what items to buy for a store (shirts, ties, and fragrances), as well as where to place these items in relation to each other (ties and fragrances must be displayed close to the store's men's shirts section). Certain algorithms that fall in this category can also trace connections between records overtime.

Deviation detection. This operation attempts to identify points that cannot be fitted into the segment and then explain whether each such point is noise or should be examined in more detail. This operation usually operates in conjunction with database segmentation and, because “outliers” express deviation from expected norms, often leads to true discovery.

6. Practical session

Big data, artificial intelligence and machine learning for managerial and innovation decisions for data networks and storages. Correct methods for the dynamic management of critical loading leading to disruptions in the network.

What big data, artificial intelligence and machine learning can do for managerial decision-makings.

As the result examples of the use of big data, collective analysis artificial intelligence and machine learning (pattern recognition, predictions). Dataflow analysis techniques play an important role in tools for performance optimization, program understanding and maintenance, software testing, and verification of program properties. Unfortunately, the use of interprocedural dataflow analysis in real-world software tools is hindered by several serious challenges. One of the central problems is the underlying analysis model implicit in most of the work in this area. The key feature of this model is the assumption of a whole-program analysis for a homogeneous program. Interprocedural wholeprogram analysis takes as input an entire program and produces information about the behavior of that program. This classical dataflow analysis model assumes that the source code for the whole program is available for analysis.

7. Area of Practical using

Concluding observations for predicting data network collision’s depending on different applications of it. Depending on their level of participation in the common channel and in the interconnection.

Understanding what data (big or small) can or cannot do for managerial decision-making:

Can do: operational efficiency (exploiting data and information to understand how the world is).

Modern software presents serious challenges for this traditional model. For example, systems often contain reusable components. Whole-program analysis assumes that it is appropriate to analyze the source code of the entire program as a single unit. However, for software built with reusable components,

– Some program components may be available only in binary form, without source code, which makes whole-program analysis impossible.

– It is necessary to re-analyze a component every time this component is used as part of a new system. For example, a library may be used in many applications, and whole-program analysis requires re-analysis of this library from scratch in the context of each such application.

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

– Code changes in one component typically require complete re-analysis of the entire application.

– The cost of whole-program analysis is often dominated by the analysis of the underlying large library components (e.g., standard libraries, middleware, frameworks, etc.). To achieve practical cost, analysis designers are often forced to use semantic approximations that reduce the precision and usefulness of the analysis solution.

Conclusion

Big Data is a great boon to various companies and organizations, as it is helping them to take better decisions, thus profiting the company. The use of this data to the best of its abilities, however, at the current state, remains not fully possible. The target of the work is to explore the main reasons why it's important to optimally and manage data on the computational network for its optimal and uninterrupted work [3].

Used literature and sources of information

1. Big Data Science: Fundamental, Techniques, and Challenges (Data Mining on Big Data) By Neil Y. Yen Presented by Incheon Paik University of Aizu Japan 2014. 6. 27, 13.07.2018.

2. Big Data & Advanced Analytics in Telecom: A Multi-Billion- Dollar Revenue Opportunity Prepared by Ari Banerjee Senior Analyst, Heavy Reading www.heavyreading.com 2013, 10.08.2018.

3. Challenges and Opportunities in Internet Data Mining David G. Andersen, Carnegie Mellon University Nick Feamster Georgia Institute of Technology CMU-PDL-06-102, Jan 2006 25.08/2018.

CREDIT RISK ASSESSMENT AND MODELING METHODS USING RECOGNITION ALGORITHMS BASED ON CALCULATION OF ESTIMATES

**¹Shangitbaev Z.K., ²Arslanov M.Z., ²Mustafin S.A.,
²Naizabayeva L.K.**

¹Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

The work is devoted to the study of the problems of determining the credit risk in lending to individuals and the development of a rating model of assessing borrowers based on the precedent approach.

Timely detection of possible bankruptcy signs allows management of credit institutions (hereinafter banks) to take prompt measures to remedy the financial condition and reduce the risk of bankruptcy.

A risk is the probability of a loss that could affect the performance of an economic entity or an economic transaction. Moreover, since the purpose of the bank's activities is to maximize profits, it must pay great attention to the implementation of its operations with the minimum possible risks. To avoid bankruptcy, banks need to seek and apply effective methods and tools to manage these risks in order to achieve and maintain a stable position in the banking services market.

Numerous models for calculating credit risk evaluation of the borrower indicate the existence of problems in determining credit risk. In modern banking practice, the problem of developing a system that would allow a credit manager, having set current parameters, to obtain an estimate the repayment of the loan and interest, is topical. A computational system based on the ideas of the pattern recognition theory is proposed. It allows determining the borrower's risk class. Such a system can also be used in making various decisions in the course of monitoring real contracts - whether to conclude a contract, what measures to take in case of violations of the repayment schedule or interest payments, whether to prolong the contract, how to react to depreciation of collateral, etc.

Management of banking operations is essentially the management of risks associated with the bank portfolio, with a set of assets that provide the bank with income from its activities. The main part of the bank portfolio is loans to businesses and individuals, which is connected with a risk of full or partial loss of the bank's resources.

When developing the system, the following risk management algorithm was used:

1. Qualitative analysis - identification of the full range of risks, description of risks, analysis of initial assumptions, classification and grouping.
2. Quantitative analysis - formalization of uncertainty; calculation, assessment and accounting of risks.
3. Minimizing risks by designing risk management strategies, selecting the optimal strategy and implementing it.
4. Risk control - monitoring risks, reassessing and adjusting risks, as well as making operational decisions on deviations.

Risk management of the loan product is carried out at all stages of the life cycle of the risk evaluation system through monitoring and control actions in cases of deviation from the specified project parameters. Thus, the special nature of risk management as a stage of system design is to monitor continuously in dynamics and with adjustments in order to avoid deviations from the parameters specified by the bank because of exposure to risks in the process of participating in the system design cycle.

The main types of risk are liquidity risk, interest rate risk, risk of default on a loan.

The latter type of risk is especially important, since the non-return of borrowed funds brings large losses to banks and can serve as one of the reasons for bankruptcy.

The form, the amount of lending, the method of repaying the loan and the collateral requirements depend on the lending risk.

In this regard, the task of prompt and objective evaluation of the lending risk is urgent.

The degree of risk of lending transactions is expressed in the highest interest rate for transactions that are of a credit nature (loans, guarantees) in comparison with other assets. Loan rates should compensate the bank for the value of the funds provided for the term, the risk of changing the value of collateral and the risk of the borrower failing to fulfill its obligations.

The risk of non-fulfillment of obligations by the borrower is determined by a large number of factors integrated in the concept of the client's creditworthiness.

The creditworthiness of a bank customer is its ability to fully and timely pay off on its obligations. Evaluation of the borrower's creditworthiness, as the task of determining the financial stability of the borrower. It is important both at the stage of selection of potential borrowers, and at the stage of control over the course of the loan repayment.

When assessing creditworthiness, risk factors are taken into account:

- 1) The nature of the transaction being negotiated;
- 2) Customer credit history;
- 3) The state of the industry and the region;
- 4) Position of the client in the specified industry;
- 5) The financial condition of the client;
- 6) The ability of the client to provide the property as collateral;
- 7) The social status of the client.

Analysis of credit risks is a complex task, including: developing methodological approaches to the analysis of a potential borrower; monitoring and analysis of changes in financial stability of a potential borrower, identification of unfavorable trends and their causes at the earliest possible stage.

To determine and analyze the risk, there are indicators for assessing the risk of lending. Given the multiplicity of risk indicators, the difference in the level of their critical assessments there is the need to evaluate existing techniques and determine how effective they are.

Traditional models of risk evaluation. Analysis of traditional models and methods of evaluating banking risks (such as the financial condition of the borrower, including the model of the borrower's classification by the point system, a two-factor model for assessing the probability of the bankruptcy of the borrower, assessing the probability of the borrower's bankruptcy based on the Altman Z-account, the model of Roman Lis for determining the financial state, the assessment of the borrower's financial position by U.Biver's indicators, the R-model of forecasting the risk of bankruptcy, etc.) makes it possible to identify the main shortcomings of such evaluation approaches.

The reasons for this are in the following. First, these models provide an incomplete, one-sided evaluation of the financial condition of the borrower, and therefore too large deviations of the forecast from reality are possible. Secondly, the models were developed for certain economic and political conditions. Thirdly, existing models of classification by the point system are usually developed conditionally and appropriate refinements are

needed to apply them. Therefore, in order to obtain a more objective evaluation of the financial and economic state of the borrower, there is a need to create a more effective evaluation methodology.

None of the decision rules can be recognized as universal and free of shortcomings that limit the scope of their application. Moreover, the creation of universal decision rules, apparently, is impossible in principle. This is due to the fact that, depending on the purposes, the system of preferences and the possibilities of obtaining information on preferences, various decision rules can be created [1].

The proposed model of risk evaluation. We propose a formalized approach that makes it possible to implement the decision-making process on the appropriateness of issuing a loan using pattern recognition techniques. The task of evaluating the financial condition is reduced to the classification of borrowers on the basis of sufficiently weak requirements for the initial data. Borrowers classified as belonging to the same class of patterns will have common properties, i.e. will have approximately the same level of financial stability, creditworthiness, and be equal.

When solving the task of classifying a borrower, the expert determines the classes of risk evaluation, characterized as a class of borrowers with a very high risk probability, a class of borrowers with an average risk probability, a class of borrowers with a very low risk probability. Borrowers who wish to take out a loan are referred to one of the previously defined classes, based on the level of their financial condition. Depending on the chosen risk class, the system determines which credit policy the manager should select.

Substantial statement of the problem. State classes are defined, each of which contains borrowers with the same risk evaluation. Each borrower is described by a set of features that characterize its state. It is required to put the defined borrower to one of the risk classes.

In the language of the mathematical theory of pattern recognition, this problem is defined as follows.

Formal setting of the problem. Input information is a set of vectors

$$X = \{x_j | j = 1, M\} \subset R^n, \text{ где } x_j = (x_j^{(1)}, \dots, x_j^{(n)}).$$

Here M – is the number of vectors n – is the number of characteristics, x_j - j-th is the vector (j-th observation).

The task of training with the teacher. Suppose that unknown q classes of objects $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_q$, that in a given set X (the training set) are represented by finite subsets

$$X_1, X_2, \dots, X_q, \quad X = \bigcup_{i=1}^q X_i, \quad X_i \cap X_j = \Theta \quad \forall i \neq j.$$

It is necessary to create a rule by means of which it is possible to classify with a sufficient degree of reliability objects belonging to classes X_1, X_2, \dots, X_q , but not contained in the training set X . The criterion for the quality of the sought-for decision rule is the

percentage of correctly recognized objects with a priori known classification, but not participating in training. A set of such objects is called a check or validation sample. Forming a validation sample from the set of all the objects presented for training is also a very important task.

The recognition of an object is based on a previously conducted training - a stage that precedes the recognition phase. The aim of the training is to select such thresholds, which result in a minimum number of errors on the training set of objects with the known membership of classes (training). The next stage after the training is the stage of training control. It consists in checking the training, calculating the error in recognizing objects of the examination set of objects that belong to known classes (the exam). In addition, the last stage is the recognition of an unknown object.

At present, a large number of algorithms for object recognition have been developed and extensive experience in solving applied problems in various fields of science and technology has been accumulated. The most developed and well-known model of recognition is the model of algorithms for calculating assessments. An algebraic theory of pattern recognition is created [2]. Multiparametric algorithms of this model were used as the basis for the decision support system for determining the size of the loan.

The class of algorithms based on the calculation of assessments is given by describing the six elements defining it:

1. A system of reference sets,
2. Proximity function,
3. Calculation of estimates for the rows of a fixed reference set,
4. Calculation of the estimate for the class from the reference set,
5. An estimate for a class in the system of reference sets,
6. The decision rule.

Any recognition algorithm, the task of which consists of these six elements, will be an algorithm for calculating assessments, which are a set of all possible recognition algorithms that can be specified by the six elements under consideration.

Thus, we can say that by choosing a particular system of reference sets, defining the proximity function, specifying the rules for calculating assessments for the rows of a fixed reference set, for a class over a reference set and for a system of reference sets, also assigning a decision rule, we get some specific algorithm for computing evaluations. The class of recognition algorithms based on the calculation of assessments includes all possible algorithms that can be created from the six elements considered.

Advantages of this model are as follows.

1. Controllable model parameters;
2. Availability of training;
3. The analysis models are parametric;
4. Possibility of finding significant objects of classes;
5. Presence of weights of objects, signs;
6. Joint accounting of heterogeneous information;
7. Ability to select significant signs;

8. Evaluation of expert breakdown of objects into classes;

Using this approach allows us to obtain a more accurate and objective result. This helps to reduce the risk of loss and make a profit, as well as to give reasons for the decisions made when working with lenders and partners.

The ultimate goal of the work is the construction of an experimental computer system for determining the risk of lending based on the borrower's condition. For this purpose, the information system "Risk evaluation in retail lending" (hereinafter referred to as the "RISK" system) was developed, on the input of which the borrower's descriptions submitted by the vector-descriptions and divided by the expert into classes on risks are submitted. For a recognizable borrower, the system determines the class of its credit risk.

Integrated software environment [3-5]. The "RISK" system includes the following modules: a characteristic normalization module, a training module, an examination module, a recognition module. In addition, the system includes a module for analyzing the borrower's risk based on a dynamic set of characteristics, a module for selecting significant characteristics, a module for selecting financially stable borrowers, a module for selecting the standards for each risk class, and a module for integrating dissimilar remote systems.

Conclusion. In this work, we touched on the issues of credit risks in banking operations and showed the possibility of using recognition algorithms based on the calculation of evaluations in them. There are also other approaches to the definition of bank risks in the issuance of loans. We note that a lot of research has been devoted to the theoretical foundations of risk in multicriterion and gaming problems.

References

1. Озерной В.М. Проблемы и методы принятия решений при векторном критерии // Вопросы кибернетики. Теория принятия решений. Вып. 8. – 1974. – С. 53-60.
2. Журавлев Ю.И. Алгебраический подход к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики. – 1978. - Вып. 33. - С. 5-68.
3. Джуматова Г.К., Мустафин С.А. Комплекс алгоритмов анализа и распознавания объектов // Известия НАН РК, сер. физ.-мат., 2007, №3. - С. 64-69.
4. Мустафин С.А., Зейнуллина А., Масимханова Ж. Анализ многомерных данных в задачах оптимизации // Новости науки Казахстана, № 2. – Алматы: 2013, С. 63-68
5. Мустафин С.А., Джуматова Г.К. О методике оценки кредитного риска физических лиц // Экономика: стратегия и практика. Институт экономики КН МОН РК. Научное издание. 2010, №4, С. 45-50.

ON A PROBLEM OF THE OPTIMAL PLACEMENT OF MONITORING DEVICES IN NETWORKS WITH MOBILE OBJECTS

Tkachev K.V., Volzhankina K.A., Sokolova O.D.

ICM&MG, Novosibirsk, Russia

tkachev@sscc.ru, ksu.nech@rav.sccc.ru, olga@sscc.ru

Keywords: optimization problems, transport networks, genetic algorithms, simulation

The article deals with optimization problems in non-stationary networks (networks with mobile nodes). Examples of these networks are transport networks in which communication is carried out between moving objects, or between moving objects and stationary roadside equipment. The main characteristics of the elements in this network are the capacity of road sections, the intensity of flows, and the range of monitoring devices.

Many publications about VANET problems are devoted to the analysis of algorithms for the communication of receiving-transmitting devices located on moving objects. One of the actual problems in this area is the task of the message transmission from monitoring devices located in stationary nodes to all participants of the movement in a given area. The transmission of instant messages is usually made by a broadcast method.

This article provides a technique for solving the problem of alerting the moving objects using a genetic algorithm and simulation. As a result, authors found an optimal placement of devices in the nodes of the transport network, maximizing the number of cars that will receive a message about the event no later than the time limit. As a transport network model, an undirected graph is considered, in which it is possible to place N notification devices in some nodes.

To find the optimal placement, a genetic algorithm is used. Each chromosome is a solution, i.e. it shows some placement of transmitting devices in nodes of the network. The fitness-function is calculated using the simulation.

The proposed technique with using the genetic algorithm and simulation allows to obtain an optimal placement of devices according to the maximum number of notified vehicles. Research results can be used to solve applied problems: improving the provision of drivers with information on the state of the road, monitoring traffic flows and so on.

This research was supported by RFBR grant 17-47-540977.

ЕСЕПТЕУ КЕШЕНДЕРІНІҢ ТҮЙІНДЕРІНЕ ҚОЛДАНБАЛЫ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ҮЛЕСТІРУДІҢ ЖЕКЕ ЕСЕПТЕРІ

Калижанова А.У., Набиева Г.С., Ахметов С.С.

*Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
Алматы энергетика және байланыс университеті
Алматы қ., Қазақстан Республикасы
kalizhanova.aliya@mail.ru*

Аннотация. Ақпараттық жүйелердің деректер базасының массиві, есептеу желілері түйіндеріндегі бағдарламалық модульдер массиві, бағдарламалық модульдерді үлестіру, шектелген базалар шартында жобаларды таңдауды дискретті бағдарламалаудың тиімді жаңа есептер класы–дискретті бағдарламалаудың блокты-симметриялы модельдері ретінде қарастырылды.

Кілттік сөздер: үлестірілген деректерді өңдеу, блокты-симметриялы модельдер, дискретті бағдарламалау.

Есептеу жүйелері мен кешендерінің үлестірілген деректерді өңдеу процесінде қолданбалы және деректер базасын саралаумен байланысты есептер туындайды.

Берілген құрылым бойынша жұмыс істейтін есептеу желісі және деректер базасының массивтері қолданатын берілген есептердің қолданбалы бағдарламалары орындайтын сәйкес қолданбалы есептер желі түйіндерінде белгілі болсын. Жіберілетін массивтер базасының жалпы санын минимальды ету үшін, есептеу жүйесінің түйіндері бойынша деректер базасының массивтерін үлестіру қажет. Деректерді өңдеудің қолданбалы есептер жиынтығы берілген есептеу жүйесінің түйіндерінде деректер базасының массивтерін үлестірудің есебін қарастырамыз. [1-5]

Есеп келесі түрде құрылады.

1 есеп. Демек, $A = \{a_i, i = \overline{1, I}\}$ - деректерді өңдеудің қолданбалы есебінің жиыны, $B = \{b_j, j = \overline{1, J}\}$ - қолданбалы есептерді шешуге қажетті деректер базасының массивтерінің жиыны. $W = \|\omega_{ij}\|$ матрицасы деректерді өңдеудің қолданбалы есептері мен массивтерінің арасындағы байланыс ($\omega_{ij} = 1$, егер $i - ші$ есептің шешімі үшін $j - ші$ деректер базасының массиві қолданылса, кері жағдайда $\omega_{ij} = 0$).

Есептеу жүйелері мен кешендер құрылымы $G = \|g_{mn}\|$, $m, n = \overline{1, M}$ матрицасымен берілген, мұндағы, егер m и n түйіндерінің арасында деректердің алмасу арнасы болса, $g_{mn} = 1$ болады, ал егер m и n түйіндерінің арасында деректердің алмасу арнасы болмаса $g_{mn} = 0$

Есептеу желілерінің түйіндері бойынша деректер базасының массивтерін үлестіруді $S = \|S_{mi}\|$ матрицаға келтіреміз, мұнда $S_{mi} = 1$, егер i – m қолданбалы бағдарлама m – m желі түйінінде шешілсе, $S_{mi} = 0$ кері жағдайда.

Желіде жіберілетін деректер базасының массивтерінің жалпы санын минимальды ету үшін, есептеу желісінің түйіндеріндегі деректер базасының массивтерін үлестіру қажет

Есептің қойылымы Есептің математикалық қойылымы үшін келесі айнымалыны енгіземіз.

$$y_{jn} = \begin{cases} 1, & \text{егер } j\text{-ші деректер базасы массиві } n\text{-ші желі} \\ & \text{түйінінде үлестірілсе} \\ 0, & \text{кері жағдайда.} \end{cases} \quad (1)$$

$\|\alpha_{mj}\|$ матрицасын анықтаймыз, мұнда

$$\alpha_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{егер } \sum_{i=1}^l S_{mi} \omega_{ij} \geq 1 \\ 0, & \text{егер } \sum_{i=1}^l S_{mi} \omega_{ij} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Матрица элементтері келесі түрде түсіндіріледі: $\alpha_{mj} = 1$, егер j – m деректер базасы массиві m – m желі түйінінде үлестірілсе, $\alpha_{mj} = 0$, кері жағдайда.

Бұл жағдайда есеп келесі түрге келтіріледі:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M \sum_{j=1}^J \alpha_{mj} y_{jn} \rightarrow \min \quad (3)$$

келесі шектеулер бойынша:

$$\sum_{n=1}^M Y_{jn} = 1, \quad j = \overline{1, J} \quad (4)$$

- есептеу желілері түйіндерінде деректер базасының қайталануы

$$\sum_{j=1}^J Y_{jn} = K_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (5)$$

- есептеу желілерінің әрбір түйіндерінде өңделетін деректер базасының массивтерінің жалпы саны

$$\sum_{n=m+1}^M \sum_{j=1}^J \tau_{mj} y_{jn} \leq t_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (6)$$

- берілген желідегі деректер базасының массивтерін жеткізудің жалпы уақыты

$$\sum_{n=1}^M \sum_{j=1}^J q_{mj} y_{jn} \leq v_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (7)$$

- берілген түйінде массивке берілетін жадының жалпы көлемі.

Берілген есеп бір айнымалымен және бір блокпен шектелген блокты-симметриялық есептің жеке есебі ретінде тұжырымдалған. Есептеу жүйелері мен кешендері негізінде деректерді өңдеудің жобалау процесінде есептеу желілерінің түйіндерінде деректер базасының массивтерін орналастыру берілген жағдайда деректер базасына сұраныс немесе қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз етудің кері есебі туындайды.

2 есеп. Демек, деректерді өңдеудің қолданбалы бағдарламасы немесе деректерді өңдеу жүйесіне сұраныс $A = \{a_i, i = \overline{1, I}\}$ жиынымен берілген, $B = \{b_j, j = \overline{1, J}\}$ - қолданбалы есептерді шешуге қажетті деректер базасының массивтерінің жиыны. $W = \|\omega_{ij}\|$ матрицасы ($\omega_{ij} = 1$, егер $i - ші$ есептің шешімі үшін $j - ші$ деректер базасының массиві қолданылса, кері жағдайда $\omega_{ij} = 0$) деректерді өңдеудің қолданбалы есептері мен массивтерінің арасындағы байланыс.

Сонымен қатар, есептеу желісі $G = \|g_{mn}\|$, $m, n = \overline{1, M}$ құрылымы мен есептеу желілерінің түйіндері бойынша деректер базасының массивтерін орналастыру $\|\beta_{in}\|$ матрицасы белгілі.

Жүйенің түйіндеріндегі үлестірілу берілген есептеу жүйелері түйіндері арасындағы жіберілетін массивтер базасының жалпы санын минимальды ету үшін, есептеу желісінің түйіндерінде қолданбалы бағдарламаларды (есептерді) үлестіру қажет

Есептің қойылымы Есептің математикалық қойылымы үшін келесі айнымалыларды және белгілеулерді енгіземіз.

$$x_{mi} = \begin{cases} 1, & \text{егер } i\text{-ші үлестіру есебі } m\text{-ші түйінде} \\ 0, & \text{кері жағдайда} \end{cases} \quad (8)$$

Есептеу желілерінің түйіндері бойынша бағдарламалық модульдерді үлестірудің есебі келесі түрде болады:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M \sum_{i=1}^I x_{mi} \beta_{in} \rightarrow \min \quad (9)$$

келесі шектеулер бойынша:

$$\sum_{m=1}^M x_{mi} = 1, \quad i = \overline{1, I} \quad (10)$$

- есептеу желілері түйіндерінде есептің шешімінің қайталануы

$$\sum_{i=1}^I x_{mi} \leq \alpha_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (11)$$

- есептеу жүйелерінің түйіндерінде орналасқан қолданбалы бағдарламалардың жалпы саны

$$\sum_{i=1}^I t_i x_{mi} \leq T_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (12)$$

- берілген есептеу жүйедегі қолданбалы бағдарламаларды өңдеу уақыты

$$\sum_{i=1}^I v_i x_{mi} \leq V_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (13)$$

- берілген есептеу жүйе түйінінде қолданбалы бағдарламалардың алатын жалпы көлемі.

Берілген есеп блокты-симметриялық есептің жеке есебі болып табылады және оның шешімі үшін тиімді алгоритм ұсынылған.

Есептеу жүйелері мен кешендері негізінде деректерді өңдеудің жобалау процесінде жүйе түйіндеріне бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды үлестірудің тиімді жолын табатын құрылымды анықтайтын қажеттілік туындайды. Мұндай есептің қойылымы мен шешімі есептеу кешенін құрудың шығынын

азайтады, есептеу кешенінің түйіндеріндегі ресурстарды үлестіруді реттеу, жүйенің түйіндер арасындағы ақпаратты жеткізу уақытын қысқартады. Мысалға, құрылған корпоративті желілерде есептеу кешендерінің түйіндерінде бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды тиімді үлестіру объектінің ұжымдық құрылымын, есептеу кешеніндегі мәліметтерді алмастырудың сенімділігі мен тиімділігін, тұтас объектіні және есептеу кешенін бүтіндей жаңарту мүмкіндігін анықтайды

Жүйенің түйіндері бойынша бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды үлестіру жолымен есептеу кешендерінің тиімді құрылымын анықтаудың есебін қарастырамыз.

3 есеп. Бағдарламалық және ақпараттық ресурстар түрінде деректерді өңдеудің жүйесі және олардың арасындағы байланыс берілсін: деректерді өңдеудің қолданбалы бағдарламалары $A = \{a_i, i = \overline{1, I}\}$ жиынымен, ал деректер базасының массивтері $B = \{b_j, j = \overline{1, J}\}$ жиынымен берілген. $W = \|\omega_{ij}\|$ матрицасы ($\omega_{ij} = 1$, егер i – i -ші есептің шешімі үшін j – i -ші деректер базасының массиві қолданылса, кері жағдайда $\omega_{ij} = 0$) деректерді өңдеудің қолданбалы есептері мен массивтерінің арасындағы байланыс.

Бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды өңдеу үшін арналған есептеу кешенінің $p = \{p_m, m = \overline{1, M}\}$ түйіндер жиыны берілген.

Жүйедегі түйіндердің арасындағы байланыс арнасының құнын немесе деректерді жеткізу арналарын жобалауға кететін жалпы санды минимальды ету үшін, есептеу желісінің түйіндері бойынша қолданбалы бағдарламалар мен деректер базасының массивтерін үлестіру қажет

Есептің қойылымы Есептің математикалық қойылымы үшін келесі айнымалыларды және белгілеулерді енгіземіз:

Айнымалыларды енгіземіз:

$$x_{mi} = \begin{cases} 1, \text{егер } i\text{-ші қолданбалы бағдарлама } m\text{-ші} \\ \text{түйінде үлестірілсе,} \\ 0, \text{кері жағдайда.} \end{cases} \quad (12)$$

$$y_{jn} = \begin{cases} 1, \text{егер } j\text{-ші деректер базасының массиві } n \\ \text{-ші түйінде, үлестірілсе} \\ 0, \text{кері жағдайда.} \end{cases} \quad (13)$$

Сонымен қатар туынды айнымалыны енгіземіз:

$$\alpha_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{егер } \sum_{i=1}^I x_{mi} \omega_{ij} \geq 1 \\ 0, & \text{егер } \sum_{i=1}^I x_{mi} \omega_{ij} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

α_{mj} айнымалысы m – ші есептеу кешенінің желі түйінін j – ші деректер базасының массивін оқылу қажеттілігін анықтайды.

$$\beta_{in} = \begin{cases} 1, & \text{егер } \sum_{j=1}^J \omega_{ij} y_{jn} \geq 1 \\ 0, & \text{егер } \sum_{j=1}^J \omega_{ij} y_{jn} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

β_{in} айнымалысы i – ші қолданбалы бағдарлама үшін қажетті n – ші түйінде орналасқан массивті қолдану қажеттілігін анықтайды.

z_{mn} ізделініп отырған айнымалысы мәліметтерді жіберуді бейнелейтін есептеу кешендеріндегі m – ші және n – ші түйіндердің арасындағы келесі жағдайда анықтаймыз.

$$z_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{егер } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \alpha_{mj} \omega_{ij} \beta_{in} \geq 1 \\ 0, & \text{егер } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \alpha_{mj} \omega_{ij} \beta_{in} = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Есептеу кешендеріндегі түйіндердің арасындағы қажетті байланыс арналарының жалпы санын келесі түрде анықтаймыз

$$P = \sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M z_{mn}, \quad (17)$$

$$S = \sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M C_{mn} z_{mn} \quad (18)$$

Егер есептеу кешенінің түйіндері арасындағы C_{mn} байланыс арнасының тарту құны белгілі болған жағдайда, деректерді жеткізу арнасын жобалаудың жалпы құны (2.50) түрде анықталады.

Есептеу кешендеріндегі бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды жүзеге асыру үшін мәліметтерді жеткізу арнасының жалпы санын тиімді анықтаудың есебі келесі түрде болады:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M Z_{mn} \rightarrow \min \quad (19)$$

келесі шектеулер бойынша:

$$\sum_{m=1}^M x_{mi} = 1, \quad i = \overline{1, I} \quad (20)$$

- есептеу желілері түйіндеріндегі қолданбалы бағдарламаны орналас-тырудың қайталануы

$$\sum_{i=1}^I x_{mi} \leq R_m, \quad m = \overline{1, M} \quad (21)$$

- есептеу жүйелерінің түйіндерінде орналасқан қолданбалы бағдарламалардың (есептердің) жалпы саны

$$x_{mi} + x_{mi'} \leq 1, \quad i \neq i' \quad (22)$$

- жеке қолданбалы бағдарламаларды бір түйінде орналасу

$$\sum_{n=1}^M y_{jn} = 1, \quad j = \overline{1, J} \quad (23)$$

- есептеу кешенінің түйіндеріндегі деректер базасының массивтерін орналастырудың қайталануы

$$\sum_{j=1}^J Y_{jn} \leq P_n, \quad n = \overline{1, M} \quad (24)$$

- есептеу кешенінің түйіндеріндегі өңделген деректер базасының массивтерінің саны

$$Y_{jn} + Y_{j'n} \leq 1, \quad j \neq j' \quad (25)$$

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

- есептеу кешенінің түйіндерінде жеке деректер базасының массивтерін орналастыру

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M C_{mn} Z_{mn} \leq C_o \quad (26)$$

- есептеу кешенінің деректерді жеткізу арналарын жобалаудың жалпы құны

$$X_{mi} + Y_{jn} \geq 1, \quad m = \overline{1, M} \quad (27)$$

- бағдарламалық және ақпараттық ресурстарды есептеу кешенінің әрбір түйініне орналастыру.

Есептеу кешендеріндегі деректерді жеткізу арналарын жобалауға кететін жалпы құнды төмендету қажеттілігінде (2.40) түріндегі мақсат функция ретінде функция қолданылады.

Құрастырылған есептер дискретті бағдарламалаудың блокты-симметриялық класына жатады. Оның шешімі үшін өлшемдері үлкен көлемді есептерді шешуге арналған тиімді алгоритм құрастырылған.

Әдебиеттер тізімі

1. Казиев Г.З. Блочно-симметричные модели и методы решения задач проектирования систем обработки данных Алматы, КазНТУ, 1998 г.

2. Казиев Г.З. Блочно-симметричные модели и методы постановки и решения задач дискретного программирования. Вестник Инженерной академии РК N2 (10), Алматы, 2003.

3. Казиев Г.З., Каленова Б.С., Набиева Г.С., Молдакалыкова А.Ж. Дискретті бағдарламалаудың модельдері мен әдістері. Блокты-симметриялы модельдер - дискретті бағдарламалаудың жаңа есептер классы. Международная научно-техническая конференция “Информационной и телекоммуникационной технологии: образования, наука, практика” (Алматы, 2012 г., I том).

4. Казиев Г.З., Набиева Г.С., Молдакалыкова А.Ж. Қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз ету мен деректер базасының массивтерін үлестірудегі дискретті бағдарламалаудың блокты-симметриялы есебі. «Ізденіс» халықаралық ғылыми басылым № 1, 2013 ж.

5. Казиев Г.З., Сагимбекова А.О., Набиева Г.С., Оспанова С.Б. Эффективный алгоритм решения блочно-симметричных задач // Вестник КАЗ НТУ имени К.И. Сатпаева. - Алматы, 3/4 (37/38), 2003.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ДАННЫХ МЕГАПОЛИСА

Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т.

*Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,
Казахстан, г. Алматы
e-mail: dika.cat@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается анализ исследования изменчивости времени с использованием больших данных мегаполиса разных стран. Все эти исследования полезны для повышения эффективности систем управления инцидентами и планирования перевозок. Различные методы были использованы для решения проблем, связанных с перегрузкой и повышенной продолжительностью поездки.

Введение. Ряд факторов влияет на время поездки и ее изменчивость. Выше среднего времени в пути и изменчивости времени в пути являются два непосредственных последствия перегруженности. Такое скопление может быть классифицировано как рекуррентное или непериодическое [1]. Периодическая перегрузка вызвана ежедневными задержками пиковых часов, которые возникают, когда спрос превышает пропускную способность шоссе, в то время как единовременные из-за нетипичных причин, таких как инциденты [2,3], отключенные транспортные средства, рабочие и строительные зоны, неблагоприятные погодные явления [4,5] и специальные события [6]. Оба типа перевозок налагают изменчивость во времени и неопределенность для водителей, поскольку они точно не знают, когда они придут в пункт назначения. В Соединенных Штатах единовременная перегрузка, вызванная инцидентами, составляет примерно 25% от общей загруженности [7]. Двумя основными причинами учета единовременных перевозок являются дорожные происшествия и погода. Краткосрочное прогнозирование трафика играет важную роль в управлении движением [8] в случаях инцидентов и неблагоприятных погодных условий.

Жизненно важная роль системы автомобильных перевозок в повседневной жизни делает ее ключом к достижению долгосрочного планирования [9-11]. Одним из процессов планирования в случае инцидентов на автомагистралях является управление трафиком (ТИМ), состоящее из четырех различных фаз, как показано на рисунке 1 [12]. Каждая из этих фаз была предметом нескольких исследований, направленных на управление инцидентами [13]. Время прохождения зазора - это период между сообщением об инциденте и удалением всех транспортных средств со сцены, как показано на этапах 1-3 на рисунке 1. Однако в большинстве случаев поток трафика остается затронутым инцидентом даже после его очистки. *Время очистки шоссе* - время между обнаружением инцидентов и возобновлением

обычных операций движения; этот общий период времени, показанный на рисунке 1. Время проведения расстрела может быть оценено в основном в случае инцидентов. Тем не менее, время пробега в пути сложнее рассчитать, отчасти из-за сложности определения времени, когда трафик восстанавливает свое состояние перед инцидентом. В то время как во многих исследованиях было исследовано время прохождения инцидента, мало кто, если таковой имеется, сосредоточил свое внимание на моделировании *времени разминирования шоссе*.

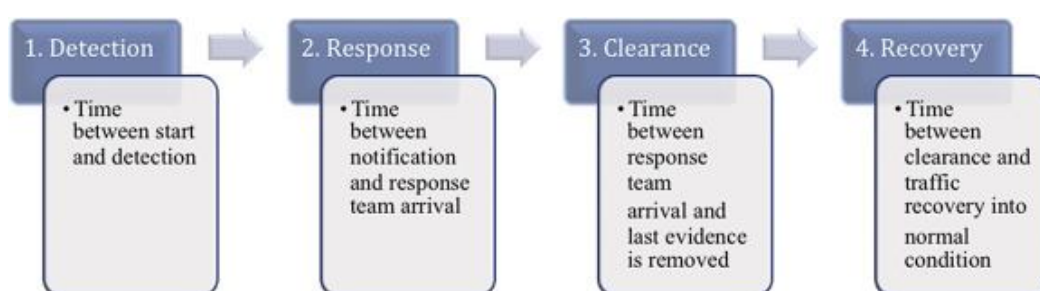


Рис 1. Фазы прохождения трафика и временные рамки

Помимо типа и тяжести инцидентов, несколько экзогенных переменных влияют на время разминирования шоссе, включая погодные условия, геометрические особенности шоссе и топографию. Неблагоприятная погода влияет на поток трафика после инцидента по-разному. Системы магистралей, конечно, различаются по длине, количеству полос движения и объему трафика. Следовательно, трудно сформировать обобщенную модель для оценки времени инцидента.

В качестве первого шага в решении существующей задачи этот документ будет включать данные о погоде, геометрических и инцидентах. Целью этого исследования является объединение этих источников с целью оценки времени разминирования шоссе посредством обмена данными в режиме реального времени. Кроме того, эта методология сконфигурирована для работы с данными в реальном времени, чтобы предоставить операторам изменения времени движения в рамках текущего инцидента. Хотя время в пути более ощутимо для водителей по сравнению с задержкой, плотностью, скоростью и течением, существующие модели не могут просто доставить изменчивость онлайн-путешествий путешественникам, что является целью этой структуры. Отсутствие модели, которая использует интегрированные данные о происшествиях и погоде, а также важность предоставления водителям изменений в режиме реального времени в изменчивости времени в случае инцидента, мотивировали это исследование.

В этом исследовании используется надежная модель регулятора, способная интегрировать влияние выбросов для улучшения прогноза. Модель разработана с использованием информации геометрии дороги, подробных данных о погоде, данных о скорости движения в 5 минут и обширной базы данных инвентаризации инцидентов, собранной с участка шоссе в Калифорнии. Двумя основными источниками данных для этого исследования являются программное решение ReMS в Департаменте транспорта Калифорнии и Национальном управлении океанических и атмосферных исследований (NOAA).

Объем доступных данных о трафике и не-трафике растет, что увеличивает необходимость интеграции источников данных для получения лучших результатов. Фундаментальный вклад этого исследования заключается в объединении нескольких наборов данных и определении взаимодействий, которые могут возникнуть для улучшения ТИМ. Нынешняя структура может эффективно доставлять путешественникам время в пути, используя расширяемую модель. Таким образом, это исследование может в значительной степени способствовать внедрению интеллектуальных транспортных систем (ITS) с использованием программ для транспортных средств (V2V) и транспортных средств для инфраструктуры (V2I), включая навигационные системы для автомобилей, знаковые знаки сообщений, радиовещание по шоссе и интеллектуальные телефоны.

Существующая литература по предмету относится к двум основным категориям: оценка и оценка. Различные методы в первой категории были использованы для решения проблем, связанных с перегрузкой и повышенной продолжительностью поездки. В качестве примера, Skabardonis et al. В исследованиях были оценены повторяющиеся и нерегулярные задержки на городских дорогах с использованием данных петлевого детектора, в которых были рассчитаны распределение вероятностей задержек для двух реальных коридоров коридора в Лос-Анджелесе и районе залива. Ким изложил модель целочисленного программирования, чтобы минимизировать общие инциденты с использованием данных инцидента в Мэриленде. Хотя эти методологии приносят пользу планировщикам, они не могут количественно оценить последствия инцидентов для путешественников. Wright et al. Проанализированы воздействие различных типов аварий на надежность времени в пути с использованием данных об инцидентах, собранных на двух автомагистралях между штатами в Сиэтле, штат Вашингтон, и обнаруженные инциденты могут значительно снизить надежность времени в пути.

Во второй категории исследователи из широкого круга дисциплин оценивали и оценивали задержки инцидентов. Всестороннее исследование Chung и Rescker определило, как временные, так и пространственные аспекты задержки, вызванной инцидентом, с использованием двоичного целочисленного программирования (BIP). Pan et al. Смоделированы пространственно-временное воздействие инцидентов с точки зрения задержки, проанализировав архивные данные о движении в Лос-Анджелесе. В еще одном недавнем исследовании Yu et al оценивали задержку, вызванную инцидентом, с использованием комбинации

модифицированной схемы очередей и методов прогнозирования краткосрочного трафика.

Помимо использования разных подходов моделирования для оценки задержки, вызванной инцидентом во второй категории, в других исследованиях основное внимание уделялось оценке продолжительности различных фаз инцидента. Ozbay и Nouay использовали Bayesian Networks для оценки продолжительности инцидентов, для которых данные могут быть частично доступны в Северной Вирджинии. Ци и др. исследовали факторы, влияющие на время, необходимое для устранения инцидентов с использованием моделей на основе опасности, рассматривая экспоненциальные, Weibull, Log-logistic и логнормальные распределения для продолжительности инцидентов. Hou et al предложил основанный на механизме подход к моделированию процесса реагирования на инциденты. Время отклика включает как задержку подготовки, так и время проезда к месту инцидента. Рассмотрено несколько факторов, касающихся случайных и пространственно-временных переменных. Модель могла быть использована для оптимального времени отклика. Кроме того, исследование Ghosh et al исследовали факторы, способствующие временному освобождению от инцидентов в юго-восточной Мичиганской автостраде, используя ряд моделей параметрической опасности. Li et al использовал сравнительную модель конкурирующих рисков, основанную на опасностях, для анализа влияния методов разминирования на время разрешения инцидентов. Xie et al показали, что инциденты во время и после урагана Сэнди, как ожидается, будут на 116,3% и на 79,8% больше продолжительности, чем те, которые произошли в любое время. Ding et al использовала эндогенную модель переключения для изучения влиятельных факторов в времени прохождения инцидентов, учитывая влияние отклонения самоотбора на процесс реагирования на инциденты в штате Вашингтон. Zou et al. исследовали влияние различных объясняющих переменных на время прохождения зазора и обнаружили, что модель конечной смеси может лучше оценить вероятность выживания и вероятности времени падающего зазора. Хотя эти исследования вносят значительный вклад в науку об управлении инцидентами, большинство из них игнорируют время разминирования.

Чтобы устранить этот пробел, в нескольких исследованиях было предпринято попытку сократить время разминирования и оценить время восстановления трафика. Маэстр и Мунфорд исследовали время восстановления и утверждали, что не существует математической модели, которая может точно предсказать время восстановления в режиме реального времени, поскольку время разрешения шоссе трудно моделировать. Чжоу и Тянь пришел к выводу, что время разминирования и время разминирования в пути изучалось отдельно, но связь между этими двумя еще не изучалась. Чтобы исследовать это, Чжоу и Тиан произвели 300 инцидентов в VISSIM на основе разных заблокированных полос и времени прохождения инцидентов и объемов трафика. Результаты моделирования сценария продемонстрировали высокую корреляцию между временем восстановления и

временем очистки. К сожалению, в этом исследовании не использовались данные реального мира, что делает их анализ на основе моделирования весьма сомнительным. В другом недавнем исследовании Tavassoli Hojati et al применил основанный на опасностях подход к моделированию длительности инцидентов в зависимости от множества влияющих переменных на автострадах в Австралии. Этот метод использовал исторические данные для исследования потенциальных независимых переменных, включая сведения об инцидентах, характеристики трафика, инфраструктуру и временные эффекты. Однако этот метод не может использоваться для онлайн-прогнозирования, и результаты остаются неутвержденными.

Все эти исследования полезны для повышения эффективности систем управления инцидентами и планирования перевозок. Поскольку выход этих моделей является задержкой с точки зрения количества часов, они не могут быть непосредственно использованы в ИТС, чтобы просто информировать водителей о дополнительном времени в пути. Эти анализы исторических записей инцидентов были выполнены по переменным, которые становятся доступными только после того, как инцидент был удален и, следовательно, практически не имеет практического значения для онлайн-прогноза. Метод, предложенный в этом исследовании, преодолевает вышеупомянутые проблемы, оценивая время разминирования шоссе и обеспечивая онлайн-изменчивость во время путешествия.

Теперь рассмотрим источники данных.

ReMS - это программное решение, которое собирает данные о транспортировке по автомагистралям Калифорнии. Он обеспечивает доступ к данным о реальном времени в режиме реального времени и историческим данным о дорогах, собранными Департаментом транспорта Калифорнии (Caltrans), а также партнерскими агентствами, включая Калифорнийский дорожный патруль (CHP), систему наблюдения и анализа авиационных происшествий Caltrans (TASAS) и система закрывания дорожек Caltrans.

ReMS предоставляет пользователям данные о производительности, такие как объем, скорость, задержку, занятость, время в пути, среднесуточный ежедневный трафик (AADT) и уровень обслуживания (LOS). Данные доступны на разных уровнях агрегации. Он может использоваться для расчета различных показателей эффективности, калибровки моделей, проверки результатов исследований и оценки общих условий трафика для принятия решений, не заменяя каких-либо технических решений. В этом исследовании ReMS используется для построения моделей прогнозирования в реальном времени на основе реальных данных. Преимущество этого набора данных заключается в том, что он обеспечивает как трафик, так и данные об инцидентах в точных временных масштабах минут.

Выбор данных

Выбранные местоположения для этого исследования должны удовлетворять следующим критериям географического положения и эффективности, чтобы обеспечить единственное влияние инцидентов и избежать включения любых других факторов, которые могут привести к снижению скорости. Используя

отфильтрованные данные, результаты этого исследования применимы к любым другим подобным сценариям. Критерии:

- Никаких изменений в количестве полос движения
- Не в области качества
- Нет полосы движения высокого класса (HOV)
- Нет крутого склона
- Нет закрытия полосы в течение выбранного периода времени
- Наличие прямой секции главной полосы
- Наличие более 90% наблюдаемых данных за время
- Наличие исторических данных скорости за выбранный период времени
- Наличие двух станций на расстоянии 1.61 км (одна миля), чтобы включить восходящее и аварийное местоположение

Список литературы

1. Kim H.J., Choi H.K. Сравнительный анализ времени инцидента на городских автострадах IATSS Res., 25 (2001), 62 - 72 с.
2. Chang L.Y., Chen W.C. Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. J. Saf. Res., 36 (2005), pp. 365-375.
3. Agarwal S., Kachroo P., Regentova E. A hybrid model using logistic regression and wavelet transformation to detect traffic incidents. IATSS Res., 40 (2016), pp. 56-63
4. Hou T., Mahmassani H.S., Alfelor R.M., Kim J., Saberi M. Calibration of traffic flow models under adverse weather and application in mesoscopic network simulation procedures. Transp. Res. Board 92nd Annu. Meet (2013).
5. Edwards J.B. . The relationship between road accident severity and recorded weather. J. Saf. Res., 29 (1998), pp. 249-262.
6. Castro-Neto M., Jeong Y.-S., Jeong M.-K, Han L.D. Online-SVR for short-term traffic flow prediction under typical and atypical traffic conditions. Expert Syst. Appl., 36 (2009), pp. 6164-6173.
7. Office of operations U.S. Department of Transportation Federal highway Administration-Reducing no-recurring congestion.
8. Wei D., Liu H. An adaptive-margin support vector regression for short-term traffic flow forecast. J. Intell. Transp. Syst., 17 (2013), pp. 317-327.
9. Javid R.J., Nejat A., Hayhoe K. Selection of CO₂ mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach. Renew. Sust. Energ. Rev., 38 (2014), pp. 960-972.
10. Javid R.J., Nejat A. A comprehensive model of regional electric vehicle adoption and penetration. Transp. Policy, 54 (2017), pp. 30-42
11. Javid R.J. Greenhouse Gas and Air Pollution Emission Reduction from Incentivized Carpooling. J. Transp. Heal., 3 (2016), p. S71.

12. Ghosh I., Savolainen P.T., Gates T.J. Examination of factors affecting freeway incident clearance times: a comparison of the generalized F model and several alternative nested models. J. Adv. Transp., 48 (2014), pp. 471-485.

13. Hou L., Lao Y., Wang Y., Zhang Z., Zhang Y., Li Z. Modeling freeway incident response time: a mechanism-based approach. Transp. Res. Part C Emerg. Technol., 28 (2013), pp. 87-100.

УДК 65.018

ИННОВАЦИОННОЕ КАЧЕСТВО С НОВЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

**Бобров^{1,2} Л.К., Медянкина^{1,2} И.П., Тойбаева^{1,3} Ш.Д.,
Исабекова^{1,3} Л.С.**

¹Новосибирский государственный университет экономики и управления
"НИНХ", Россия

²Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Казахстан

e-mail: l.k.bobrov@edu.nsuem.ru, i.p.medyankina@edu.nsuem.ru,
shara_t@mail.ru, lyazzka07@mail.ru

***Аннотация.** В настоящее время важно понимать, что инновация не является факультативной, она необходима для деятельности в конкурентной отрасли или на рынке услуг. С глобализацией усиливается конкуренция - чтобы подняться или остаться на вершине отрасли, компании должны очень быстро выводить на рынок дифференцированные продукты и услуги. Инновации необходимы также в государственном секторе не только в отраслях и в компаниях. Большим вызовам нашего времени нужны большие инновации, которые, вероятно, будут более или менее системными по своей природе. Глобальное изменение климата, предстоящий водный кризис, проблемы с бедностью, проблемы здоровья и продовольствия, проблемы коммуникации и устойчивость нашей планеты потребуют активного развития системных инноваций. Инновации, которые в конечном счете выгодны, представляют интерес для компаний и общества в целом. Если проблем с качеством и системных сбоев слишком много, инновации не будут выгодны для фирмы. Компании описывают инновации как ключ к увеличению устойчивой прибыли и доли рынка. Политики и многие государственные учреждения*

утверждают, что конкурентное преимущество в настоящее время основывается на успешной инновации. Организации, не способные внедрять инновации, представляют собой виды, находящиеся под угрозой исчезновения; эволюционные тупики в глобальной промышленной экосистеме. С этой точки зрения важно разработать благоприятные предпосылки успешных инноваций [1].

Ключевые слова: инновации, управление качеством, системная инновация, открытая и закрытая инновация, система менеджмента

Введение

В некоторых прогрессивных случаях инновации решают проблемы управления качеством. В некоторых непрогрессивных случаях инновации вызывают новые проблемы с управлением качеством. Таким образом, можем заключить, что эксперты и заинтересованные стороны должны иметь решающее значение для новых социальных и технологических инноваций. Функциональная логика цепочки поставок продуктов / услуг (поставщиков, производителей, дистрибьюторов, инсталляторов и потребителей с добавленной стоимостью) может измениться из-за новых инноваций. Как известно, патенты предоставляются за изобретения, а не за инновации. Клиенты покупают инновационные продукты, а не изобретательные продукты или идеи. Таким образом, когда организации разрабатывают успешные условия для идей, изобретений и инноваций, они должны заранее думать о проблемах управления качеством до возникновения серьезных проблем и системных сбоев. Здесь мы должны подчеркнуть, что мы не можем устранить существование разрушительных инноваций.

Парадигма закрытых инноваций гласит, что успешные инновации требуют контроля в организациях и институтах. В закрытой инновационной модели организации должны создавать свои собственные идеи, а затем развивать, строить, продавать, распространять и поддерживать их самостоятельно.

Альтернативной ключевой концепцией современных инновационных исследований является концепция открытых инноваций. Open innovation - это парадигма инновационных исследований, которая предполагает, что фирмы могут и должны использовать внешние идеи, а также внутренние идеи и внутренние и внешние пути выхода на рынок, поскольку фирмы стремятся продвигать свои технологии. Таким образом, открытые инновации были предложены в качестве новой парадигмы управления инновациями [2]. Концепция открытых инноваций тесно связана с:

- 1) инновациями, основанными на потребителях или потребителях,
- 2) кумулятивными инновациями,
- 3) торговлей ноу-хау,
- 4) управлением знаниями,
- 5) инновационной демократией,
- 6) массовыми инновациями
- 7) распределенные инновации [3].

Идея совместного создания также тесно связана с открытой парадигмой инноваций. Принцип совместного создания состоит из четырех компонентов:

- 1) опыт мышления;
- 2) контекст взаимодействия;
- 3) платформы взаимодействия;
- 4) сетевые отношения [4].

Все эти элементы способствуют открытости в новинках. Сегодня многие компании, такие как Apple, Starbucks и Nike, приняли такой подход к управлению инновациями. Многообещающие результаты уже были достигнуты путем совместного создания.

Открытые инновации определяются как - «использование целенаправленных притоков и оттоков знаний для ускорения внутренних инноваций и расширения рынков для внешнего использования инноваций» [5]. Приобретение технологий и использование технологий являются ключевыми элементами открытого инновационного мышления [6]. Эксплуатация технологий подразумевает целенаправленные оттоки знаний. Первичный приток относится к исследованию технологий. Технологическое исследование относится к деятельности, которая позволяет организации приобретать новые знания и технологии извне.

В полностью открытой инновационной модели фирмы или организации сочетают в себе как технологию эксплуатации, так и разведку, чтобы максимально использовать их технологические и другие возможности. Открытые инновации - это проблема управления для малых, средних и крупных корпораций, но это также является проблемой для образовательных и научных организаций. Закрытая инновационная модель предполагает различный системный подход к инновационному процессу, чем открытая инновационная модель. Это интересная разница между этими двумя альтернативными инновационными моделями. В закрытой модели стимулы и ограничения не способствуют обмену знаниями. В открытой инновационной модели инновационная система способствует обмену знаниями. Таким образом, можно заключить, что конкретная инновационная система определяет, работает ли закрытая или открытая инновационная модель.

В таблице 1 представлена разница между открытым и закрытым инновационным мышлением и определены ключевые проблемы управления качеством (QM).

Прозрачность по сравнению с замкнутым системным подходом требует нового подхода к инновациям и другого пути вперед, когда идеи приходят и начинают демонстрировать свое обещание.

Важно понимать, что открытые инновации и открытые системные подходы являются чем-то другим по сравнению со старыми «блоками предложений». Хорошие и эффективные инструменты дают большие преимущества:

- 1) Руководители отделов могут отбирать объем идей, основанных на толпе, взвешивать и априорно, где проводить время / деньги организаций;
- 2) разработчики идей хотят знать, что это их идеи;
- 3) новаторам необходимо знать, кто и где находятся другие новаторы;

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

4) с помощью правильных инструментов, идеи в стиле социальных сетей могут быть опубликованы, чтобы решить более насущные проблемы [7].

Таблица 1. Закрытая система, открытая система и системные проблемы QM

Системы	Проблемы управления качеством
Закрытые системы	<p>Проблемы с обменом информацией, не слишком много информации и знаний. Отсутствие информации может привести к многочисленным проблемам управления качеством и системным сбоям.</p> <p>Основной вопрос: как получить достаточную информацию внутри чтобы избежать этих проблем?</p>
Открытые системы	<p>Максимальное использование технологических и других возможностей организаций: информационная нагрузка может вызвать множество проблем управления качеством, если нет хорошо функционирующего системного механизма координации.</p> <p>Основной вопрос: как организовать эффективный обмен информацией без проблем управления качеством?</p>

Открытые инновации подтверждают тот факт, что ценные идеи могут прийти даже изнутри за пределами компании или корпорации. Эти идеи могут также поступать изнутри или за пределы компании на рынок. Таким образом, компании могут воспользоваться открытыми инновациями. Одно из главных преимуществ заключается в том, что организации могут воспользоваться преимуществами широкого круга экспертов. Компании или отдельные лица извне организации могут создавать инновационные идеи для компании.

Важными приложениями парадигмы открытых инноваций являются цифровые сетевые приложения и новые приложения для социальных сетей. Благодаря этим новым инструментам время выхода на рынок может быть уменьшен [4].

Во-первых, создание и развитие инноваций требует инновационных способностей. На рис. 1 определены ключевые инновационные альянсы [8]. Можно сделать некоторые важные замечания на основе рисунка 1:

- Инновационный процесс требует не только новаторов, но и решателей проблем, имитаторов (исполнителей) и проблемных формулировок.

- Способность находить сходства и находить различия - это фундаментальный стимул для инноваций.
- В инновационных процессах требуются как низкие, так и высокие способности.
- В инновационных процессах требуется многообразие функций, структур и процессов.

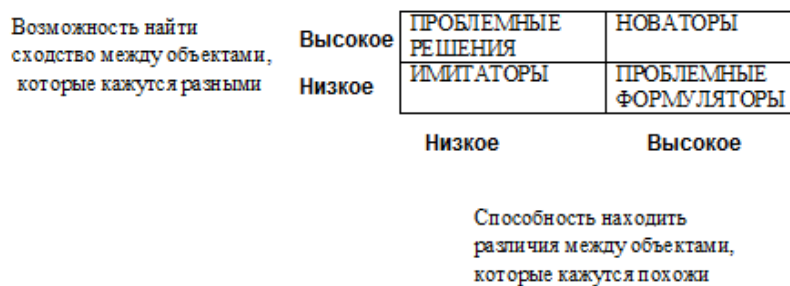


Рисунок 1. Инновационные способности

Все эти примечания важны для создания системных инноваций. Множественность функции, структуры и процесса лежит в основе системной теории развития. Качество инноваций основано на совместных действиях. Если существует большое разнообразие действий, вероятно, будет развиваться более высокий уровень качества. Очень важно понять, что сначала необходимо создать предварительные условия для высокого качества, и когда это будет возможно, можно начать оценивать аспекты качества услуг, продуктов и системных инноваций. Часто люди ожидают, что новые инновации создаются без этих предварительных условий и действий инноваций. Такое неправильное предположение автоматически приводит к плохому качеству инноваций. Системы могут иметь несколько структур и несколько функций, и они могут управляться несколькими процессами.

В данной статье рассмотрены инструменты для управления проблемами QM в контексте инновационных процессов. Как правило, проблемы QM заключаются в следующем:

- 1) в передаче технологий инноваций;
- 2) в разработке технологий технического обслуживания новых инноваций;
- 3) в использовании методов исследования качества и долговечности (или устойчивости) новые инновации;
- 4) в анализе экологических аспектов новых инноваций (системные эко-инновации и эко-инновации);
- 5) в использовании инструментов тестирования качества инноваций.

В тех случаях, когда тестирование проводится, инновационный тест качества Naner [9] является подходящим инструментом.

Качество инноваций должно оцениваться в трех областях:

- 1) уровне продукта / услуги;
- 2) уровне процесса;
- 3) уровне предприятия.

Потенциальные меры для отдельных областей [10]:

А. Меры, связанные с продуктом / услугами:

- добавленная стоимость для клиента;
- затраты на цели;
- стабильность дизайна;
- возврат продукта на инвестиции;
- уровень производительности продукта;

В. Меры, связанные с процессом:

- время выхода на рынок;
- повышение эффективности и производительности;
- эффективность кадрового уровня в разработке продукта;
- эффективность управления проектами;
- увеличение гибкости;

С. Меры, связанные с предпринимательством:

- коэффициент принятия решений по всей рабочей силе;
- понимание потребностей клиентов;
- оборот, полученный с использованием инновационных продуктов;
- коэффициент запаса;
- скорость успешных попыток инноваций.

Измерения качества инноваций представляют собой инструмент управления для руководителей и менеджеров в компании. можно назвать эту систему пакетом инструментов менеджмента качества. Пакет инструментов менеджмента качества подходит для индивидуальных инноваций, будь то социальные или технологические инновации. Здесь важно отметить, что в управлении качеством как Hard Ss, так и Soft Ss-материи. Hard Ss - это стратегия, структура и системы. Soft Ss - это стиль, общие ценности, навыки и персонал. В традиционном управлении США хорошо управляются Hard Ss, но в японском менеджменте лучше управляются Soft Ss [11]. Таким образом, необходимо сочетать стили управления в США и Японии для управления системными инновациями.

Существуют различные результаты качества инноваций. Лучшие компании имеют высокое качество инноваций продуктов / услуг (менеджмент качества), сильный менеджмент качества процесса и сильный корпоративный менеджмент качества. Как правило, у компаний есть проблемы в некоторых областях. Только в исключительных случаях все области менеджмента качества сильны [4].

Таким образом, почти все компании сталкиваются с некоторыми проблемами в своих системах управления менеджментом качества и инновациями. Сосредоточив внимание на этих проблемах и разработке новых способов их обработки, можно добиться лучших результатов.

Заключение

В данной статье можно отметить, что нужно начать говорить о модели от квартета поскольку потребители теперь являются четвертым элементом национальной системы инноваций. Одним из ключевых замечаний является то, что ключевые игроки системных инноваций состоят из четырех частей: промышленности, правительства, академии (университетов) и потребителей. Инновации в настоящее время основаны на прогнозах, требующих сотрудничества в области производства и потребления. Кроме того, из-за сетевого взаимодействия и глобализации, закрытые национальные инновационные системы, становятся все более национальными открытыми инновационными системами. Таким образом, появится парадигма NOIS [12].

Цель этой статьи состояла в анализе современных системных инноваций и постиндустриальных инновационных систем. Инновации составляют важную часть технологической и промышленной системной динамики. Они также оказывают определенное влияние на проблемы обслуживания и устойчивости.

Литература

1. Прахалад, К.К. и Кришнан, М.С. (2008) Новый век инноваций. Вождение Совместная стоимость через глобальные сети
2. Inkinen, S. and Kaivo-oja, J. (2009) Understanding Innovation Dynamics. Aspects of Creative Processes, Foresight Strategies, Innovation Media and Innovation Ecosystems. eBook 9/2009. Finland Futures Research Centre. Turku: Turku School of Economics.
3. Рамашмави Р., Гуиларт Р. (2010) Сила сотворчества. Постройте его с ними, чтобы повысить рост, производительность и прибыль. Нью-Йорк: Свободная пресса.
4. Chesbrough, H., Vanhaverbeke, W. and West, J. (eds.) (2006) Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press.
5. Langlois, R.N. and Garzarelli, G. (2008) Of hackers and hairdressers: Modularity and the organizational economics of open-source collaboration. *Journal Industry & Innovation* 15(2), 125-143. See also: Web: <http://web.uconn.edu/ciom/Open1C.pdf>.
6. Lichtenhaler (2008) Open innovation in practice. an analysis of strategic approaches to technology transactions. *IEEE Transactions on Engineering Management* 55(1), 148-157.
7. Handrick, L. (2011) Web: Innovation. Transparency versus fear. Posted 22.8.2011. Web: <http://www.innovationexcellence.com/blog/2011/08/22/innovation-transparency-versus-fear/>
8. Гаражедаги Дж. (2006) Системное мышление. Управление хаосом и сложностью: платформа для проектирования бизнес-архитектуры. Амстердам: Баттерворт-Хайнеманн
9. Haner, U. E. (2002) Innovation quality – a conceptual framework. *International Journal of Production Economics* 80(1), 31–37.

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

10. Ахмед П.К., Заири М. (2000). Инновации - перспектива измерения производительности. От управления знаниями до стратегической компетенции - измерения технологических, рыночных и организационных инноваций. Лондон: Имперская пресса, 257-294.

11. Паскаль А.Т., Атос, А. (2001) Искусство японского менеджмента. Нью-Йорк: Саймон и Шустер.

12. Сантонен, Т., Кайвоя, Дж., Суомала, Дж. (2007) Введение в парадигму национальной открытой инновационной системы (NOIS). Предварительная концепция обмена. Исследовательский центр Finland Futures. Турция

NLP AS SAAS

**Ергалиев Е., Кайрбеков А., Кучин Я., Мухамедиев Р.,
Сымагулов А.**

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан
e-mail: asmogulove00@gmail.com*

***Аннотация:** В данной статье приводится описание сервисов, которые позволяют выполнять задачи NLP (natural language processing, ОЕЯ - обработка естественного языка) для русского языка, так же приводится описание корпуса текстов для проведения анализа характеристик сервисов. Проведен анализ характеристик сервисов по трем параметрам: частеречная разметка, анализ тональности и распознавание именованных сущностей в тексте. Сделано сравнение сервисов между собой по параметру “распознавание именованных сущностей”. Приведена таблица характеристик сервисов.*

***Ключевые слова:** NLP, SaaS, ОЕЯ, облачные сервисы, морфологическая разметка, анализ тональности, распознавание именованных сущностей.*

Введение

SaaS - software as a service с английского программное обеспечение как услуга, является предоставлением какого либо готового и полностью настроенного ПО (программного обеспечения) для выполнения определенных задач. Создатели такого ПО, разворачивают его на своей стороне, что позволяет им иметь полный контроль над приложением. Главным плюсом SaaS для клиентов является полное отсутствие необходимости поддерживать работу ПО, выделять свои вычислительные мощности, хранилища, оборудование. Можно сказать, что клиенты арендуют ПО и все сопутствующие технологии для решения своих задач. Наличие

месячных подписок и определенных ценовых политик позволяет пользоваться ПО тогда, когда нужно и оплачивать только то, что использовал. Создателям такого рода ПО не нужно опасаться пиратского использования их продукта, потому что исходные коды продукта хранятся только у его разработчиков и не отправляются клиентам.

Описание имеющихся сервисов ОЕЯ необходимо для понимания того, что они способны делать, какие задачи ОЕЯ способны решать, в чем заключается их уникальность по сравнению с другими, а также для понимания политики использования этих сервисов. Для проведения анализа характеристик сервисов необходимо использование соответствующе размеченных корпусов текстов. Необходим подсчет результатов сравнения сервисов, с целью выявления лидера по какому-либо параметру, особенно для русского языка.

На данный момент существование облачных сервисов для ОЕЯ, позволяет исследователям сосредоточиться на исследовательской работе, без нужды тратить драгоценное время и силы на создание, развертывание и поддержку необходимых технологий для исследований в области ОЕЯ. Таким образом, благодаря наличию облачных сервисов ОЕЯ, скорость и продуктивность исследований значительно увеличатся, что позитивно скажется на развитии науки в области ОЕЯ. Облачные сервисы ОЕЯ предлагают такие возможности, как распознавание именованных сущностей, частеречная разметка, анализ тональности, стемминг, лемматизация, которые являются одними из основных задач ОЕЯ.

TextRazor

TextRazor сочетает в себе современные технологии ОЕЯ с обширной базой знаний о реальных фактах, чтобы мочь быстро извлекать значения из документов, твитов или веб-страниц.

Обзор базового функционала

Для русского языка способен выделять категории, а также топики текста, производить токенизацию и стемминг, определять именованные сущности. Не способен производить частеречную разметку текста и лемматизацию. Для английского языка есть возможность производить частеречную разметку, лемматизацию, определение именованных сущностей, связей слов, предположения о значении слов в контексте и деревья зависимостей. Отсутствует тональная разметка текста.

Политика использования

Бесплатный план использования предполагает весь функционал и 500 запросов в день. Больше количество запросов в день можно получить путем приобретения одной из месячных подписок. Даются скидки для исследователей.

Уникальность сервиса

Уникальность TextRazor заключается в том, что определенные именованные сущности имеют ссылку на соответствующие страницы в базах данных FreeBase и Wikipedia, а также в подробном выделении категорий и топиков текста.

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

Обзор API

Сервис имеет подробное руководство по использованию API. Предоставляется возможность использования REST API, а также API ключ для идентификации пользователя [1].

Rosette Text Analytics

Rosette Text Analytics привносит силу ИИ в анализ текста в поиске, бизнес-аналитике, социальных сетях, финансовом обеспечении и предприятиях. Предназначение Rosette Text Analytics заключается в том, чтобы дать возможность приложениям манипулировать текстами как числами.

Обзор базового функционала

Rosette Text Analytics имеет в наличии частеречную разметку текста, лемматизацию, токенизацию, определение именованных сущностей. Для английского языка имеет возможность производить категоризацию и тональную разметку текста. Отсутствует стемминг.

Политика использования

Облачные планы использования включают в себя бесплатный план, который позволяет производить до 10 000 API запросов в месяц, 1000 запросов в день. Планы от 40 000 запросов без ограничения месяц/день имеют цены от 100\$ в месяц и выше по увеличению количества API запросов.

Уникальность сервиса

Уникальность заключается в наличии в свободном доступе частеречной разметки и лемматизации текста для русского языка.

Обзор API

Сервис имеет примеры использования API для разных языков. Предоставляет API ключ для идентификации пользователя, а также преднастроенные API привязки для разных языков программирования [2].

Eureka Engine

Eureka Engine - это российская система для текстового анализа, которая способна извлекать значения и факты из входных данных.

Обзор базового функционала

В наличии определение топики текста, тональная разметка, выявление именованных сущностей. Ограниченная демо версией частеречная разметка, лемматизация и стемминг - обрабатывает только первые 10 слов текста.

Политика использования

Возможно использование демо версии, при необходимости использования платной версии платить нужно будет 800 евро за 50 000 документов в месяц, 2400 евро за 300 000 документов в месяц и далее по возрастанию количества документов будет расти и стоимость.

Уникальность сервиса

Уникальность заключается в наличии тональной разметки текста, по сравнению с TextRazor и Rosette Text Analytics.

Обзор API

Доступ к API только после оплаты [3].

Cloud Natural Language

Cloud Natural Language от Google - это RESTful API (RESTful API - это архитектура для построения веб сервисов, которая является клиент-серверное взаимодействие. Эта архитектура построена на http запросах с различными методами - GET, POST, PUT, DELETE и т.д. Архитектура будет являться RESTful если она реализует все методы http запросов.) дающий возможности для обработки и анализа текста с использованием готовых моделей, а также создание собственных моделей, построенных через другой google сервис AutoML.

С помощью данного сервиса возможно извлечение сущностей из текста, таких как люди, организации, локации. Возможность синтаксического анализа - это определение частей речи (глагол, существительное, местоимение и т.д) со связями и зависимостями между ними. Имеется также функционал по определению тональности текста (позитивный, негативный, нейтральный), а также категоризация слов на заранее заданные, популярные категории, такие как новости, интернет, информационные технологии, игры и т.д. Также возможен синтаксический анализ текста, сюда относятся токенизация, морфологический разбор, определение частей речи, лемматизация и зависимость слов друг от друга. Еще одна возможность данного сервиса - это определение тональности текста, без предобучения. На вход он получает текст, а на выходе результат в виде значения от -1 до 1, где наименьшее значение -1 указывает на максимальную негативность новости, а 1 на максимальную позитивность. Среднее значение т.е. ноль обычно берется как нейтральное. В дополнение ко всему в Google Cloud NLP есть функция, которая выдает категории, которые наиболее релевантны для текста. В списке имеется уже около 750 категорий.

Cloud Natural Language - очень простой в использовании RESTful API с поддержкой нескольких популярных языков во встроенном клиенте. Для использования данного сервиса, как и всех google-овских сервисов, нужно создать проект на сайте и нажать кнопку активации. Затем получив API ключ, использовать его в клиентских HTTP запросах. Стоимость каждого функционала отличается +- 1 доллар, цена варьируется от 2 долларов до 25 центов в зависимости от количества символов в тексте. Анализ текста до 5000 символов бесплатный. У этого сервиса есть определенный набор языков, который он может обрабатывать. Для языков, которые не поддерживаются, возможно использование другого облачного сервиса от гугл - Translate API для перевода текста. Cloud NLP имеет хорошо описанную документацию и примеры использования на различных языках программирования.

Cloud Natural Language - довольно простой в использовании, обрабатывает тексты размером в 2000 символов за пару секунд, ограниченно-бесплатный до 5000

символов, быстрый в использовании, основное время приходится на передачу данных, взаимодействует с другими сервисами от google, такие как Translate API, Speech API, дешёвый для обработки большого количества текста [4].

Метод исследования

Для сравнения сервисов между собой был подготовлен небольшой корпус текстов. Для определения качества выявления именованных сущностей за основу было взято пять текстов (37, 208, 95, 137, 94 слов) с размеченными именованными сущностями с соревнования factRuEval 2016 [5]. На вход сервисов подавались тексты, затем определенные сервисами сущности, сравнивались по параметрам точность и false positive с сущностями, которые были определены в результате соревнований factRuEval. Подробное описание метода приведено в разделе Полученные результаты. Для определения качества частеречной разметки за основу было взято три текста (157, 188, 180 слов) из коллекции FakeNews, принадлежащей корпусу “Тайга”, морфологическая разметка которого производилась с использованием пакета UDPipe [6]. На вход сервиса подавался текст со снятой разметкой, затем проводилось сравнение частеречной разметки, которую дал сервис с исходной частеречной разметкой текста.

Для определения качества тональной разметки текста за основу были взяты тексты (11 негативных среднее количество слов в одном тексте 238, 10 позитивных, среднее количество слов в одном тексте - 313) из корпуса AlemResearch [7]. На вход сервиса подавались отдельно позитивные и негативные тексты, затем проводился анализ результатов с целью выявления количества ошибок сервиса.

Ссылка на использованные тексты:

https://drive.google.com/open?id=1YWaFOiGBXT_c9ueH3J0BhI2G3PcZXb39

Полученные результаты

Результаты распознавания именованных сущностей

Ради экономии места мы приводим только первый текст корпуса, все остальные тексты, использованные для анализа, можно скачать по ссылке, приведенной выше. Распознавание большего количества сущностей, чем представлено говорит о том, что сервисы нашли больше сущностей, чем было дано в корпусе.

Первый текст

Встреча с послом Италии в МИДе Грузии. По инициативе итальянской стороны чрезвычайный и полномочный посол Италии в Грузии Виторио Сандали встретился с заместителем министра иностранных дел Грузии Александром Налбандовым. Предметом обсуждения стали вопросы сотрудничества в международных организациях.

В данном тексте из корпуса factRuEval из 5 отмеченных именованных сущностей (Италия, МИД Грузии, Грузия, Виторио Сандали, Александр Налбандов):

TextRazor правильно определил 3 сущности, всего определил 4 сущности (Италия, Грузия, Посол, Виторио Сандали), пропустив две (МИД Грузии, Александр Налбандов).

Rosette Text Analytics правильно определил 4 сущности, всего определил 8 сущностей (Посол, Италия, Грузия, Итальянской, Полномочный посол, Виторио Сандали, Заместитель министра иностранных дел, Александр Налбандов), пропустив одну (МИД Грузии).

Eureka Engine правильно определил 3 сущности, всего определил 4 сущности (Италия, МИД Грузии, Виторио Сандали, Александр Налбандов), пропустив одну (Грузия).

Для сравнения сервисов между собой были использованы следующие показатели:

Во-первых, показатель качества равный отношению правильно распознанных сущностей t к общему числу сущностей в тексте N (формула 1)

$$A = \frac{t}{N} \quad (1)$$

Показатель позволяет оценить, насколько полно сервис выделяет сущности, отмеченные экспертом.

Во-вторых, показатель точности равный отношению правильно распознанных сущностей к общему числу выделенных сущностей (сумма правильных (t) и неправильных сущностей (f)) (формула 2).

$$FP = \frac{t}{(t + f)} \quad (2)$$

Второй показатель позволяет оценить, насколько часто сервис ошибается по сравнению с экспертной оценкой.

В первом тексте:

TextRazor - $A = 3/5 = 0,6$; $FP = 3/(3+1) = 0,75$.

Rosette Text Analytics - $A = 4/5 = 0,8$; $FP = 4/(4+4) = 0,5$.

Eureka Engine - $A = 3/5 = 0,6$; $FP = 3/(3+1) = 0,75$.

Во втором тексте из 5 отмеченных сущностей:

TextRazor правильно определил 4 сущности, всего определил 6 сущностей, пропустил одну. Rosette Text Analytics правильно определил 5 сущностей, всего определил 6 сущностей, без пропусков. Eureka Engine правильно определил 5 сущностей, всего определил 6 сущностей, без пропусков.

TextRazor - $A = 0,8$; $FP = 0,66$.

Rosette Text Analytics - $A = 1$; $FP = 0,83$.

Eureka Engine - $A = 1$; $FP = 0,83$.

В третьем тексте из 3 отмеченных сущностей:

TextRazor правильно определил 2 сущности, всего определил 6 сущностей, пропустил одну. Rosette Text Analytics правильно определил 3 сущности, всего определил 4 сущности, без пропусков. Eureka Engine правильно определил 3 сущности всего определил 3 сущности, без пропусков.

TextRazor - $A = 0,66$; $FP = 0,33$.

Rosette Text Analytics - $A = 1$; $FP = 0,75$.

Eureka Engine - $A = 1$; $FP = 1$.

В четвертом тексте из 13 сущностей:

TextRazor правильно определил 12 сущностей, всего определил 12 сущностей, пропустил одну. Rosette Text Analytics правильно определил 12 сущностей, всего определил 12 сущностей, пропустил одну. Eureka Engine правильно определил 13 сущностей, всего определил 13 сущностей, без пропусков.

Rosette Text Analytics смог правильно распознать Рейган как название аэропорта, как и было в контексте, в отличие от остальных сервисов, в связи с этим получает бонус за точность (таблица 2).

TextRazor - $A = 0,92$; $FP = 1$.

Rosette Text Analytics - $A = 0,92$; $FP = 1$.

Eureka Engine - $A = 1$; $FP = 1$.

В пятом тексте из 11 сущностей:

TextRazor правильно определил 10 сущностей, всего определил 16 сущностей, пропустил одну. Rosette Text Analytics правильно определил 11 сущностей, всего определил 14 сущностей, без пропусков. Eureka Engine правильно определил 11 сущностей, всего определил 11 сущностей, без пропусков.

TextRazor - $A = 0,9$; $FP = 0,62$.

Rosette Text Analytics - $A = 1$; $FP = 0,78$.

Eureka Engine - $A = 1$; $FP = 1$.

Результаты частеречной разметки

Производился анализ качества частеречной разметки одного сервиса Rosette Text Analytics, в связи с тем, что в TextRazor такая разметка для русского языка отсутствует, а в Eureka Engine она ограничена демо версией, а также нестабильной работой частеречной разметки (разметка либо не работает, либо только для первых 10 слов текста).

В первом тексте из 157 слов ошибки в лемматизации были в 5 словах, частеречная разметка имела ошибки в 5 словах. Во втором тексте из 188 слов лемматизация имела ошибки в 6 словах, частеречная разметка имела ошибки в 9 словах. В третьем тексте из 180 слов лемматизация имела ошибки в 4 словах, частеречная разметка имела ошибки в 7 словах. Так же выяснилось, что сервис не воспринимает букву Ё.

Результаты тональной разметки

Был произведен анализ качества тональной разметки одного сервиса Eureka Engine, в связи с тем, что в TextRazor тональная разметка отсутствует, а в Rosette Text Analytics она есть только для английского языка и представляет собой сырой продукт, это обосновывается тем, что сервис не дает тональность текста, а дает неправильную тональность по отношению к какой-либо сущности (рисунок 1).

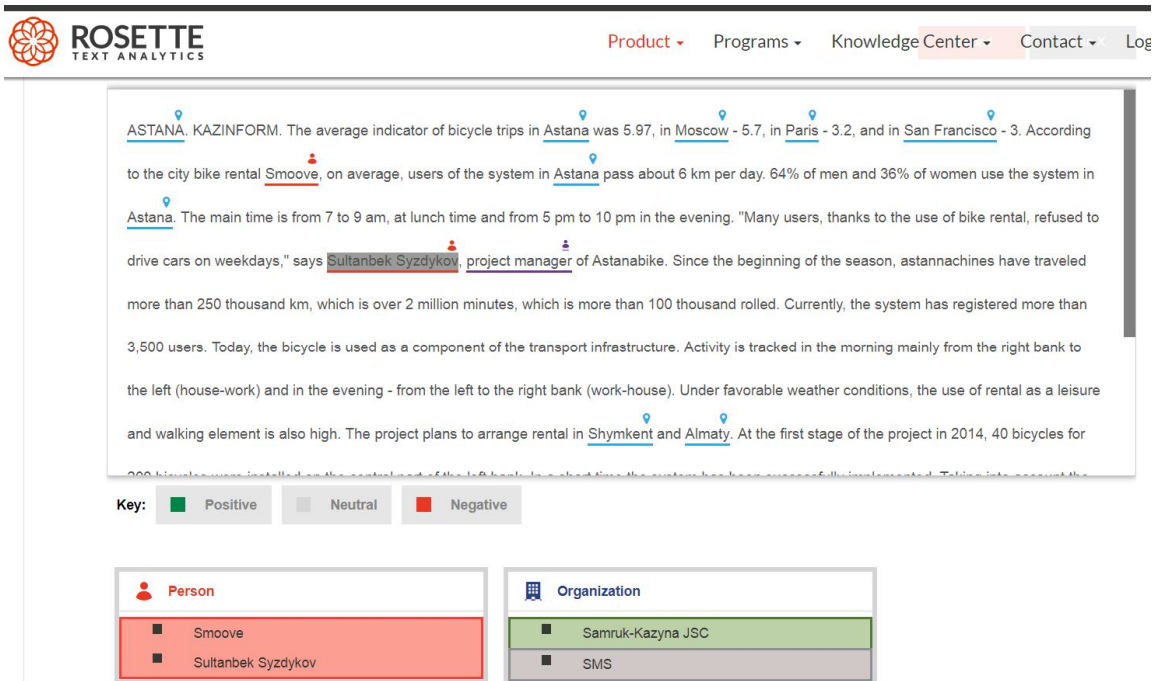


Рис. 1. Тональная разметка Rosette Text Analytics

На негативных текстах (10шт) Eureka Engine оказался прав в 9 из 10 случаев. На позитивных текстах (10шт) Eureka Engine оказался прав в 10 из 10 случаев.

Результаты оценки токенизации

Токенизация оценивалась с помощью одного текста, состоящего из 20 слов, который является шестым текстом из позитивных текстов Alem Research.

TextRazor и Rosette Text Analytics из 20 слов правильно выделили 20. Сервис Eureka Engine в связи с нестабильностью частеречной разметки анализировать не удалось. TextRazor и Rosette Text Analytics - 20/20, Eureka Engine - 0.

Результаты сравнения категоризации и выделения топиков

Для анализа и сравнения качества выделения топиков и категоризации текстов использовались 5 текстов, которые были использованы для анализа распознавания именованных сущностей.

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

На первом тексте TextRazor и Eureka Engine указали категорию - политика, Rosette Text Analytics после перевода текста на английский язык, в связи с тем, что сервис не поддерживает русский язык для данной задачи, указал категорию - техника. На втором тексте TextRazor указал категорию - отдых и выходные, Eureka Engine указал - шоубизнес и развлечения, Rosette Text Analytics указал - спорт. На третьем тексте TextRazor указал категорию - вычислительные и информационные технологии, Eureka Engine указал - экономика и бизнес, Rosette Text Analytics указал - закон. На четвертом тексте TextRazor указал категорию - транспорт и авиационные аварии и инциденты, Eureka Engine указал - туризм и путешествия, Rosette Text Analytics указал - путешествия. На пятом тексте TextRazor указал категорию - политика, Eureka Engine указал - политика, Rosette Text Analytics указал - путешествия.

В результате TextRazor имеет точность 5 из 5, Eureka Engine 3 из 5, Rosette Text Analytics 0 из 5.

Подсчет результатов сравнения по распознаванию именованных сущностей

Результаты анализа сервисов по распознаванию именованных сущностей представлены на таблице 1.

Таблица 1. Результаты распознавания именованных сущностей

	Текст 1	Текст 2	Текст 3	Текст 4	Текст 5	Среднее
TextRazor	A = 0,6 FP = 0,75	A = 0,8 FP = 0,66	A = 0,66 FP = 0,33	A = 0,92 FP = 1	A = 0,9 FP = 0,62	A = 0,77 FP = 0,67
Rosette Text Analytics	A = 0,8 FP = 0,5	A = 1 FP = 0,83	A = 1 FP = 0,75	A = 0,92 FP = 1	A = 1 FP = 0,78	A = 0,94 FP = 0,77
Eureka Engine	A = 0,6 FP = 0,75	A = 1 FP = 0,83	A = 1 FP = 1	A = 1 FP = 1	A = 1 FP = 1	A = 0,92 FP = 0,91

В результате по распознаванию именованных сущностей в среднем из 5 текстов: TextRazor имеет показатель качества - 0,77 и показатель точности - 0,67; Rosette Text Analytics имеет показатель качества - 0,94 и показатель точности - 0,77; Eureka Engine имеет показатель качества - 0,92 и показатель точности - 0,91.

Дополняя вышесказанное можно составить таблицу характеристик сервисов TextRazor, Rosette Text Analytics и Eureka Engine (таблица 2).

Таблица 2. Характеристики сервисов

	TextRazor	Rosette Text Analytics	Eureka Engine
Частеречная разметка	Для рус. яз отсутствует, для англ. яз есть	Верно разметил слов в 3 текстах: 152 из 157 179 из 188 173 из 180	-
Токенизация	Есть	Есть	Есть
Стемминг	Есть	-	-
Лемматизация	Для рус. яз отсутствует, для англ. яз есть	Верно лемматизировал 152 из 157 182 из 188 176 из 180	-
Распознавание именованных сущностей	A = 0,77 FP = 0,67	A = 0,94 FP = 0,77 +бонус	A = 0,92 FP = 0,91
Анализ тональности	Отсутствует	Отсутствует	Негатив 9/10 Позитив 10/10
Категоризация/выделение топигов	5 из 5	Для рус. яз отсутствует, для англ. яз - 0 из 5	3 из 5
Ценовая политика	Демо, 6000 API запросов - 200\$ в месяц	Демо, 40 000 API запросов - 100\$ в месяц	Демо, 50 000 документов - 800 евро в месяц
Наличие демо	Есть	Есть	Есть
Количество поддерживаемых языков	11	20 для распозн. именов. сущн., 32 для частеречной разметки	Русский
Уникальность	Сущности со ссылками на FreeBase и Wikipedia	Стабильная частеречная разметка и лемматизация для русского языка	Наличие тональной разметки текста

Заключение

Благодаря описанию сервисов ОЕЯ, становится понятно, на что способны и какие задачи могут выполнять описанные сервисы, раскрывается ценовая политика и политика использования сервисов. Описание использованных корпусов текстов дает общее понимание того, какой должна быть разметка, а также дает информацию о количестве данных, использованных для сравнительного и качественного анализа сервисов.

Частеречная разметка является одной из первых и основополагающих ступеней ОЕЯ. Анализ тональности текстов позволит предсказывать реакцию

читателя, выявлять подозрительные (опасные, резонансные и т.п.) тексты. Распознавание именованных сущностей дает возможность получить из текста важные факты (людей, названия организаций, места, события, даты) для того чтобы извлечь информацию из текста в очень сжатом виде, что в свою очередь можно использовать для классификации текстов.

Проведенный анализ характеристик сервисов ОЕЯ позволяет сделать вывод о том, что в распознавании именованных сущностей среди трех сервисов лидером с небольшим отрывом оказался Rosette Text Analytics, в частеречной разметке текстов Rosette Text Analytics показал хороший результат, в анализе тональности текстов Eureka Engine дал хороший результат (таблица 2). Так же, благодаря наглядному представлению анализа, становится ясно на какие результаты можно рассчитывать, используя приведенные сервисы.

Таким образом, становится понятно, что при решении задач ОЕЯ на русском языке для распознавания именованных сущностей и частеречной разметки текста лучше использовать Rosette Text Analytics, который вдобавок имеет самую приятную ценовую политику среди всех рассмотренных сервисов. Для тональной разметки текста лучше использовать Eureka Engine (таблица 2).

Благодарности

Работа финансируется грантом № BR05236839 «Разработка информационных технологий и систем для стимулирования устойчивого развития личности как одна из основ развития цифрового Казахстана».

Литература

1. TextRazor <https://www.textrazor.com/about> (13.08.2018)
2. Rosette Text Analytics - <https://www.rosette.com/> (13.08.2018)
3. Eureka Engine - <http://eurekaengine.ru/en/description/> (13.08.2018)
4. Google Cloud NLP - <https://cloud.google.com/natural-language/> (15.08.2018)
5. Корпус с размеченными именованными сущностями <https://github.com/dialogue-evaluation/factRuEval-2016> (13.08.2018)
6. Корпус Тайга - https://tatianashavrina.github.io/taiga_site/ (13.08.2018)
7. Alem Research - <http://alem.kz/> (13.08.2018)
8. Используемые для анализа тексты https://drive.google.com/open?id=1YWaFOiGBXT_c9ueH3J0BhI2G3PcZXb39 (13.08.2018)
9. Shavrina T. Differential approach to webcorpus construction <http://www.dialog-21.ru/media/4261/shavrina.pdf> (13.08.2018)

АРХИТЕКТУРА ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ХРАНИЛИЩА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Ермеков Ж.С., Мансурова М.Е.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан
e-mail: yermekovzhantemir@gmail.com

***Аннотация.** Сегодня важность безопасного и высокоэффективного хранения данных высока как никогда. В данной работе описана архитектура хранения большого объема текстовых данных с использованием современных технологий для создания отказоустойчивой системы. Хранилище данных в целом позиционирует себя не просто как статичная система сбора, а как механизм, который включает в себя не только низкоуровневое хранение, но и высокоуровневую обработку данных. На данный момент реализовано низкоуровневое хранение данных и создан интерфейс для взаимодействия с данными, исключая необходимость контактировать напрямую с базой данных. Практика показала, что подобный подход упрощает взаимодействие с хранилищем, а модульность системы делает её гибкой.*

Введение. Область хранения и обработки большого количества данных активно развивается, так как в современном мире принято оптимизировать приоритетно программное обеспечение, ведь не всегда увеличение мощности оборудования приводит к увеличению производительности. Актуальность работы крайне высока, так как в современном мире всё больше данных в связи с популяризацией информационных технологий. Нельзя использовать стандартные методы хранения и анализа данных для того чтобы взаимодействовать с большим объемом данных.

Обзор литературы. Работа [1] посвящена изучению вопроса хранения и анализа большого объема данных. Автор утверждает, что можно выделить три области касающиеся управления данными:

- Низкоуровневое хранение и взаимодействие с данными
- Высокоуровневая обработка данных
- Аналитика данных

За низкоуровневое хранение данных как правило отвечают обычные базы данных. За высокоуровневую обработку данных отвечают системы управления базами данных (СУБД). СУБД нужна для эффективного взаимодействия с данными, так как обычно базы данных не могут предложить высокую производительность в работе с большим количеством данных. Аналитика данных включает в себя совокупность высокоуровневой обработки данных с целью найти ответы на интересующие нас вопросы.

В работе утверждается, что существует множество инструментов по обработке большого количества данных и выбор каждого из них зависит от конкретной задачи. В нашем же случае подразумевается работа с большим количеством текстовых данных с метайнформацией. Приоритетом же в работе с большим объемом данных является масштабируемость, высокая скорость доступа к данным и отказоустойчивость. Масштабируемость – способность системы справляться с увеличением нагрузки путем добавления аппаратных ресурсов. Это значит, что если при добавлении дополнительных серверов под базы данных в систему, которая работает медленно, система станет работать быстрее пропорционально количеству добавленных серверов, то система хорошо масштабируема.

В статье [2] описывается архитектура системы хранения данных для национального корпуса Татарского языка. Там сравниваются современные методы хранения и извлечения данных. Авторы статьи проделали большую работу, тестируя время чтения и записи каждого инструмента. В результате их работы была выбрана связка Redis + MySQL. Таким образом за низкоуровневое хранение данных отвечает MySQL база данных, за высокоуровневую обработку данных отвечает система управления базами данных Redis. А для эффективной аналитики используется изменение самих запросов. Они отметили, что причиной их выбора является то, что функционал поисковых запросов может измениться всего лишь при изменении самого запроса. Таким образом, можно увидеть, что они решили сделать систему гибкой для аналитики.

Основная часть. Таким образом разрабатываемая архитектура должна учитывать важные свойства, описанные ранее. На данный момент разработана низкоуровневая архитектура хранения данных с использованием NoSQL базы данных MongoDB с программным интерфейсом приложения (API). API позволяет взаимодействовать с базами данных без непосредственного подключения к ним, что исключает проблемы с низкоуровневым взаимодействием с узлами базы данных MongoDB. Отказоустойчивость и масштабируемость может быть обеспечена за счёт механизма репликации. Репликация — это механизм синхронизации баз данных и обеспечение масштабируемости на чтение. Масштабируемость на чтение это когда данные можно получать не только с основной базы данных, куда идет запись, но и не с баз реплик. За счёт этого общая нагрузка на чтение данных распределяется между этими базами данных.

На рисунке 1 продемонстрирована архитектура хранилища данных. Видно, что взаимодействие с данными происходит через Application Programming Interface (API) - программный интерфейс приложения. Это означает что для того чтобы получить, удалить или модифицировать данные не нужно подключаться непосредственно к базам данных. Также показано как может использоваться API, видно, что с хранилищем данных может взаимодействовать сколько угодно “Пользовательских интерфейсов” и веб-приложений, в зависимости от задач.

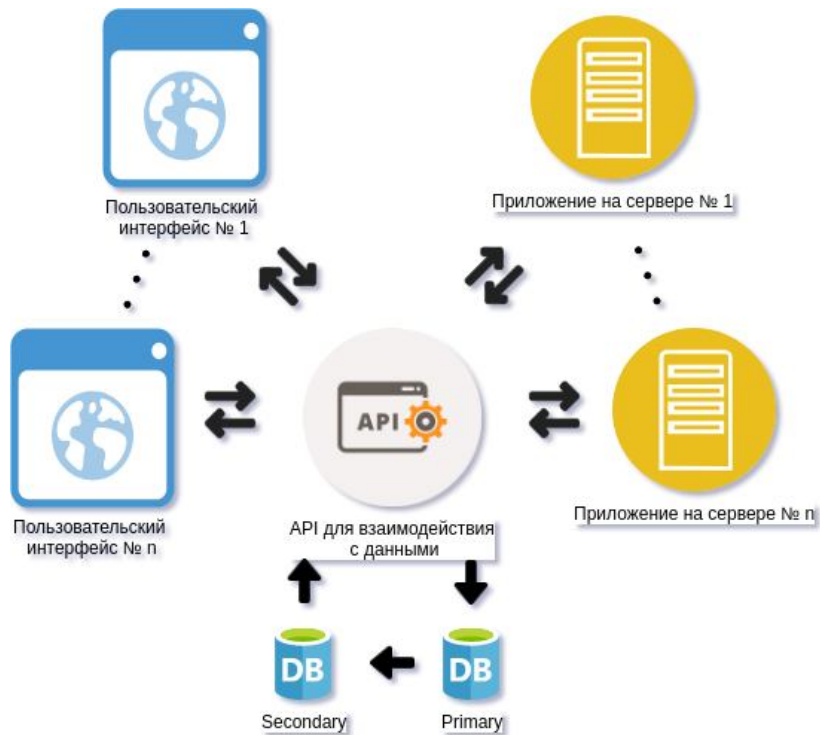


Рис. 1. Архитектура хранилища

Стоит отметить, что языки программирования и фреймворки, которые могут быть использованы в веб-приложениях и “Пользовательских интерфейсах” могут быть разными. Это происходит за счёт сведения формата данных к унифицированному виду и обмену информации в JavaScript Object Notation (JSON) виде – текстовом формате обмена данными. Таким образом, модель данных должна быть обозначена в самом хранилище данных, так и в использующем хранилище клиенте.

Отдельно стоит упомянуть об NoSQL базе данных MongoDB, которая была использована в хранилище данных. На рисунке 1 видно, что за API скрываются два узла баз данных MongoDB. Один из них является Primary узлом, а другой Secondary. Это нужно для такого механизма как репликация [3]. Репликация является механизмом синхронизации баз данных. Это значит, что вся информация, что находится в Primary узле будет продублирована в Secondary. Благодаря репликации, данные будут в сохранности. Также была произведена дополнительная настройка: все сохраняемые данные записываются в Primary узел, а чтение происходит с Secondary, что видно на рисунке 1. Подобное решение способствует снижению нагрузки на Primary узел базы данных.

Сам же API реализован с помощью модуля популярного фреймворка – набора готовых библиотек, Spring Boot в связке с модулем Data Rest [4]. В стандартный

функционал входит добавление, удаление и модификация данных с помощью HTTP протокола, протокола обмена данными. Также в API можно создавать сервисы, которые будут предназначены для тех или иных целей. На рисунке 2 показано что из себя представляет API. Видно, что помимо стандартного функционала добавления, сохранения, обновления также есть возможность создавать сервисы. В сравнении со стандартным функционалом, всё то же самое, за исключением того, что сервисы могут быть написано для каких-либо специфических задач. К примеру, можно создать сервис, который будет отображать последний сохраненный документ или 5 последних документов, всё зависит от задачи. Реализован API на языке программирования Java.

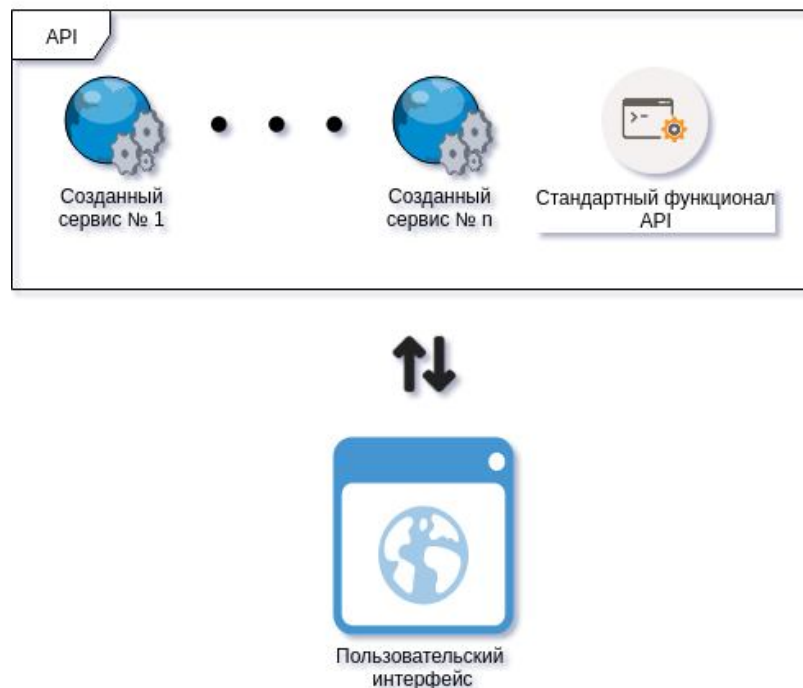


Рис. 2. Структура API и взаимодействие с “Пользовательским интерфейсом”

Причина, по которой “Пользовательский интерфейс” отделен от веб-приложения в том, что веб-приложение получает и взаимодействует с данными не так часто, как в случае с “Пользовательским интерфейсом”. К примеру, для какой-либо аналитики, которая проведется только один раз, данные будут скачиваться с хранилища, а не будет создаваться целый сервис в API, который затем больше не будет использоваться. Такой подход максимально уменьшает риск создания лишнего функционала.

```
← → ↻ corpus.kaznu.kz/newsMessage
{
  "_embedded" : {
    "NewsMessage" : [ {
      "creationDate" : null,
      "date" : "2018-05-02T14:15:11.135+0000",
      "title" : "Test title",
      "tags" : [ ],
      "type" : null,
      "notificationId" : -140985615,
      "body" : "Test body",
      "classified" : null,
      "userOpinion" : null,
      "lang" : "RU",
      "commentInfo" : {
        "commentNumber" : 0,
        "timeStamp" : 0,
        "commentsMD5" : ""
      },
      "region" : [ ],
      "newsPortalName" : null,
      "url" : null,
      "_links" : {
        "self" : {
          "href" : "http://corpus.kaznu.kz/newsMessage/5ae9c8f5f1f1016c4266d91e"
        },
        "newsMessage" : {
          "href" : "http://corpus.kaznu.kz/newsMessage/5ae9c8f5f1f1016c4266d91e"
        }
      }
    } ]
  },
  "_links" : {
    "self" : {
      "href" : "http://corpus.kaznu.kz/newsMessage{?page,size,sort}",
      "templated" : true
    },
    "profile" : {
      "href" : "http://corpus.kaznu.kz/profile/newsMessage"
    },
    "search" : {
      "href" : "http://corpus.kaznu.kz/newsMessage/search"
    }
  },
  "page" : {
    "size" : 20,
    "totalElements" : 1,
    "totalPages" : 1,
    "number" : 0
  }
}
```

Рис. 3. Пример сущности, сохраненной в хранилище данных

Базы данных и веб-приложение API находятся на разных серверах, как показано на рисунке 1. У каждой базы данных характеристики сервера являются такими: 3 ГБ ОЗУ и 50 ГБ дискового пространства, а у веб-приложения - 6 ГБ ОЗУ и 50 ГБ дискового пространства. На всех серверах установлен операционная система Ubuntu 16.04.

На рисунке 3 можно увидеть вывод веб-приложения API, по запросу о сущности, которая может храниться в хранилище. Это пример стандартного

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

функционала, который указан на рисунке 2. Здесь мы можем увидеть одну тестовую запись с метаданной, которая говорит о количестве записей.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования. Таким образом на данный момент система хранилища данных включает в себя надёжную базу данных, использующую механизм репликации и удобный API для взаимодействия с данными. В дальнейшем для определения же высокоуровневой обработки данных нужно продолжить исследование наиболее оптимального варианта для наших целей, в том числе ориентируясь на работу [2], которая даёт представления о текущих инструментах высокоуровневой обработки данных. Аналитика данных же будет определена после выбора инструмента высокоуровневой обработки данных.

Литература

1. Jaroslav Pokorný. (2016). How to Store and Process Big Data: Are Today's Databases Sufficient? 13th IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM), 5-10.
2. O. Nevzorova, D. Mukhamedshin, and R. Gataullin. (2017). Developing Corpus Management System: Architecture of System and Database. Int'l Conf. Information and Knowledge Engineering, 108-112.
3. Инструкция по настройке репликации в базе данных MongoDB [Электрон. ресурс]. – URL: <https://docs.mongodb.com/manual/tutorial/deploy-replica-set/> (дата обращения: 9.08.2018)
4. Инструкция по настройке Spring Boot и Data Rest [Электрон. ресурс]. – URL: <https://spring.io/guides/gs/accessing-mongodb-data-rest/> (дата обращения: 9.08.2018)

СОЗДАНИЕ АРХИВА ДАННЫХ ERA-INTERIM ЕВРОПЕЙСКОГО ЦЕНТРА СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ (ЕЦСП) И ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ

**Есеркепова И.Б., Юничева Н.Р., Нурсеитов Д.Б.,
Бостанбеков К., Гаврук С.В., Джамалов Д.К., Алимова А.Н.**

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан*

naduni@mail.ru, k.bostanbekov@norlist.kz

***Аннотация.** Вопросы оценки характеристик будущего климата на основе региональных гидродинамических моделей являются актуальными в современных научных исследованиях.*

В работе предполагается создание архива данных ERA-Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). Провести верификацию данных. Провести пред-процессинговую обработку данных ERA-Interim для использования в качестве начальных и граничных условий региональных моделей климата.

Большая часть региональной информации об изменении климата основана на использовании моделей общей циркуляции сопряженной системы атмосфера–океан (МОЦАО), применяемых в течение последних 30 лет в рамках Всемирной программы исследований климата (ВПИК) [1-14]. Однако горизонтальное разрешение большинства современных МОЦАО пока что составляет порядка нескольких сотен километров [15]. Это не позволяет им фиксировать эффекты локальных воздействий (например, характеристики сложной топографии и землепользования), которые вносят изменения в климатический сигнал в мелких масштабах. Чтобы устранить эту проблему, разрабатываются различные методы «регионализации» или «даунскейлинга» (уменьшения масштаба) для пространственного уточнения климатической информации, получаемой с помощью МОЦАО [16].

Приемы регионального даунскейлинга климата (РДК) все более широко используются при рассмотрении самых разных проблем изменения климата, и в настоящее время они являются важным методом, применяемым в исследованиях изменения климата [17]. Одной из причин недостаточно активного использования продукции на основе РДК является отсутствие скоординированной структуры для оценки методов, основанных на РДК, и получения качественных ансамблевых перспективных оценок, позволяющих охарактеризовать неопределенности, лежащие в основе региональных перспективных оценок изменения климата. Большинство исследований на основе РДК обособлены и связаны с конкретными интересами, поэтому в настоящее время нет всестороннего представления о региональных перспективных оценках изменения климата, основанных на экспериментах с использованием РДК. В связи с этим в рамках Всемирной программы исследований климата (ВПИК) создана Целевая группа по региональному даунскейлингу климата.

Первым результатом деятельности этой группы стало создание структуры под названием «Эксперимент по скоординированному региональному даунскейлингу климата (КОРДЭКС)» [18,19]. КОРДЭКС, по существу, имеет двойственную цель: (1) оценить и сравнить рабочие характеристики моделей (структура оценки моделей) и (2) организовать ряд экспериментов для получения перспективных оценок климата, которые будут использоваться в исследованиях воздействий и адаптации (база данных перспективных оценок климата). Цель КОРДЭКС – обеспечить структуру, доступную для широкого научного сообщества при максимальном

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

использовании результатов. Поэтому области КОРДЭКС охватывают большую часть земной поверхности земного шара, включая регион Центральной Азии.

У нас также имеется опыт по моделированию будущего регионального климата приобретенный в ходе выполнения проекта по подготовке III-VI Национального сообщения Республики Казахстан по изменению климата. Выполнен ряд численных экспериментов по оценке таких характеристик будущего климата, как приземная температура и количество осадков.



Рис. 1. Домен - Центральная Азия

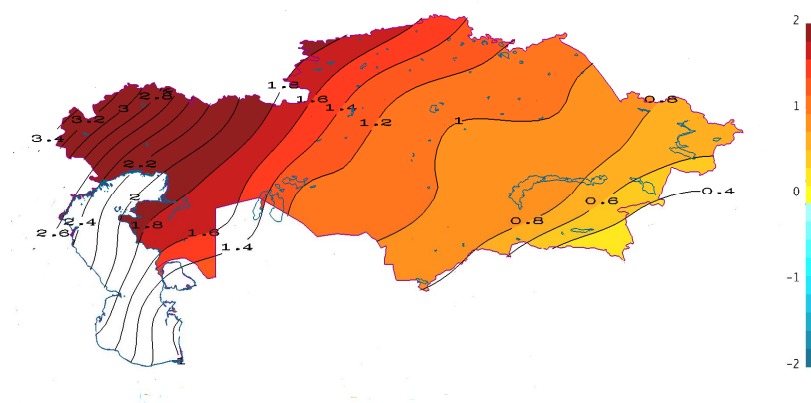


Рис. 2. Разница приземных температур воздуха средних за период (2031-2040 гг.) и базовый период (1989 – 2008гг.) по сценарию с уровнем стабилизации 8.5 Вт/м^2

Национальные и международные исследования об оценке климата играют важную роль в обеспечении научной основы для понимания и оценки воздействий

изменчивости и изменения климата на секторы экономики, такие, как сельское хозяйство и производство продовольствия, водное хозяйство, энергетика и транспорт. Основным элементом этих работ об оценке являются проекции будущего климата, основанные на использовании моделей, которые не только прогнозируют физические показатели будущего климата, но также косвенно предоставляют информацию о социальных последствиях ожидаемых изменений.

Таким образом, проекции будущего климата являются основным источником научно обоснованной информации для решения вопросов, касающихся политики в области климата, проблем адаптации, стратегий планирования деятельности по смягчению воздействий, управлению рисками, для планирования развития таких отраслей экономики, как сельское хозяйство, энергетика, промышленность, водные ресурсы, биоразнообразие. Скоординированный механизм вносит большой вклад в решение задачи по обеспечению многоступенчатого процесса по получению качественно подготовленных проекций климата и преобразования итоговой информации в формат, понятный для конечных пользователей/лиц, принимающих решения.

В отличие от сценариев, используемых в четвертом цикле оценок МГЭИК, которые основывались на сценариях выбросов парниковых газов СДСВ (IPCC, 2000), следующее поколение экспериментов по моделированию сценариев основано на так называемых исходных траекториях концентраций (RCP), т.е. заданных траекториях концентраций парниковых газов на протяжении XXI века, соответствующих различным уровням стабилизации радиационного воздействия, которые будут достигнуты к 2100 г. Были выбраны четыре сценария с уровнями стабилизации 2.9, 4.5, 8.5 и 11.2 Вт/м² (которые соответственно называются RCP2.9, RCP4.5, RCP8.5 и RCP11.2). В рамках CMIP5 при моделировании с использованием глобальных моделей наивысший приоритет отдан уровням RCP4.5 и RCP8.5, которые приблизительно соответствуют сценариям выбросов МГЭИК СДСВ B1 и A1B соответственно. Поэтому предполагается, что одни и те же сценарии будут представлять собой модельные эксперименты КОРДЭКС наивысшего приоритета. В идеальном случае все региональные модельные эксперименты должны охватывать период 1951-2100 гг. для того, чтобы включить последний исторический период плюс весь XXI век. Однако для многих групп расчеты могут оказаться слишком трудоемкими, чтобы выполнять моделирование КОРДЭКС для всего вышеуказанного периода. Поэтому период 1951-2100 гг. разделен на пять 30-летних временных отрезков, и участвующие группы должны моделировать эти отрезки в следующем порядке приоритетности: 1981-2010 гг., 2041-2070 гг., 2011-2040 гг., 2071-2100 гг. и 1951-1980 гг. Первый период (1981-2010 гг.) является исходным для оценки модели и расчета изменения климата.

Второй временной отрезок, охватывающий будущий период, был выбран как компромисс между потребностями сообщества с точки зрения будущего периода времени и потребностями в получении четкого сигнала изменения. Все участвующие группы должны как минимум выполнить эти два временных отрезка, чтобы иметь приемлемый ряд модельных экспериментов для анализа и взаимного

сравнения. Для обеспечения широкого участия, для первой фазы моделирования в рамках КОРДЭКС, установлено стандартное горизонтальное разрешение равное ~50 км (или 0,5 градуса).

Для получения оценок рабочих характеристик гидродинамических моделей, для отдельных областей будет выполнен ряд численных экспериментов с использованием данных реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) ERA-Interim, которые охватывают период 1979-2005 гг.

В предлагаемой работе установлена, настроена и адаптирована региональная климатическая модель на вычислительном кластере НАО КазНИТУ. Запущены тестовые расчеты и протестирована работоспособность модели. Интегрирован специализированный модуль с климатической моделью для приведения выходных данных к формату, требуемая программой CORDEX.

Проведена верификация данных. Для автоматического скачивания и проверки целостности данных разработан специальный программный модуль. Выявленные поврежденные файлы были повторно загружены и верифицированы.

Проведена пред-процессинговая обработка данных реанализа ERA-Interim с целью получения входных данных для региональной климатической модели CDXWRF. С помощью разработанного автоматического модуля, обработаны данные из 166560 файлов за период с 1979 по 2016 гг. В результате получены входные данные для использования в качестве начальных и граничных условий в Получен набор (архив) данных ERA-Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). С сайта NCAR Research Data Archive (NCAR RDA) загружены данные реанализа ERA-Interim включающие 2-х и 3-х мерные метеорологические параметры в формате grib за период с 1979 по 2016 гг. включительно. Общий объем данных составил 7.1 Тб, общее количество - 166560 файлов.

Реализована программа для автоматизированного запуска расчетов за весь за период с 1979 по 2016 гг. Программа формирует для каждого месяца файлы, называемые namelist.input, где хранятся необходимые параметры для запуска расчета. региональной модели климата.

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования научных проектов КН МОН РК № AP05135848 «Моделирование будущего климата Центральной Азии в рамках международного проекта CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment)».

Литература

1. Alapaty, K., R. Mathur, J. Pleim, Ch. Hogrefe, S. T. Rao, V. Ramaswamy, S. Galmarini, M. Schaap, R. Vautard, P. Makar, A. Baklanov, G. Kallos, B. Vogel, R. Sokhi (2011) New Directions: Understanding Interactions of Air Quality and Climate Change at Regional Scales. Atmospheric Environment. 49: 419–421.

2. Baklanov A., 2010: Chemical Weather Forecasting: A New Concept of Integrated Modelling. *Advances in Science and Research*, 4: 23-27.
3. Baklanov, A. and B. Grisogono (Eds.), 2007: *Atmospheric Boundary Layers: Nature, Theory and Application to Environmental Modelling and Security*. Springer, 248 p., ISBN: 978-0-387-74318-9
4. Baklanov A., U. Korsholm, A. Mahura, C. Petersen, A. Gross, 2008: ENVIRO-HIRLAM: on-line coupled modelling of urban meteorology and air pollution. *Advances in Science and Research*, 2, 41-46.
5. Baklanov A, J.H. Sørensen, A. Mahura, 2007: Methodology for Probabilistic Atmospheric Studies using Long-Term Dispersion Modelling. *Environ. Model. Assess.*, DOI 10.1007/s10666-007-9124-4
6. Baklanov A., O. Hänninen, L. H. Slørdal, J. Kukkonen, N. Bjergene, B. Fay, S. Finardi, S. C. Hoe, M. Jantunen, A. Karppinen, A. Rasmussen, A. Skouloudis, R. S. Sokhi, J. H. Sørensen, and V. Ødegaard. *Integrated Systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure*. *Atmos. Chem. Phys.* 7: 855–874
7. Baklanov, A., P. Mestayer, A. Clappier, S. Zilitinkevich, S. Joffre, A. Mahura, N.W. Nielsen, 2008: Towards improving the simulation of meteorological fields in urban areas through updated/advanced surface fluxes description. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 523-543.
8. Baklanov, A., S. Grimmond, A. Mahura, M. Athanassiadou, 2009: *Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas*. Springer, 2009, 184 p.
9. Baklanov, A., A. Mahura, R. Sokhi, 2010: *Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models*, Springer, 190 p., ISBN 978-3-642-13979-6
10. Baklanov A., B. Grisogono, R. Bornstein, L. Mahrt, S. Zilitinkevich, P. Taylor, S.E. Larsen, M.W. Rotach, H. J. S. Fernando (2011): The Nature, Theory, and Modeling of Atmospheric Planetary Boundary Layers. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 123–128. doi: 10.1175/2010BAMS2797.1
11. Grell, G. and A. Baklanov (2011): Integrated Modeling for Forecasting Weather and Air Quality: A Call for Fully Coupled Approaches. *Atmospheric Environment*, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.01.017.
12. Penenko V., A. Baklanov, E. Tsvetora, A. Mahura, 2011: Direct and Inverse Problems in a Variational Concept of Environmental Modelling. *Pure and Applied GEophysics*, Vol.169, No 3/4, DOI 10.1007/s00024-011-0380-5.
13. Zilitinkevich SS, Hunt JCR, Grachev AA, Esau IN, Lalas DP, Akylas E, Tombrou M, Fairall CW, Fernando HJS, Baklanov A, Joffre SM (2006) The influence of large convective eddies on the surface layer turbulence. *Quart J Roy Meteorol Soc* 132: 1423-1456.
14. Zilitinkevich, S.S., I. Mammarella, A.A. Baklanov, and S.M. Joffre, 2008: The effect of stratification on the roughness length and displacement height. *Boundary-Layer Meteorology*. 129: 179-190.

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

15. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2013, p.3661–3677: Comparison of climate change signals in CMIP3 and CMIP5 multi-model ensembles and implications for Central Asian glaciers. A.F. Lutz, W.W. Immerzeel, A. Gobiet, F. Pellicciotti, and M.F.P. Bierkens

16. Asia-Pac.J. Atmospheric. Science, 50(1), 2014, p.121-131: A history of mesoscale model development. J. Dudhia

17. Asia-Pac.J. Atmospheric. Science, 50(1), 2014, p.83-104: Dynamical downscaling: Fundamental issues from an NWP point of view and recommendations. Hong S.-Y. and M. Kanamitsu

18. WMO Bulletin 58 (3), July 2009, p.175-193: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. Filippo Giorgi, Colin Jones and Ghassem R. Asrar

19. Climate Research, Vol. 52, 2012, p.63–76: Simulation of temperature and precipitation climatology for the Central Asia CORDEX domain using RegCM 4.0. Tugba Ozturk, Hamza Altinsoy, Murat Türke, M. Levent Kurnaz

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ БУДУЩИХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ SDN/NFV

¹Ибрагимов Б.Г., ²Исаев А.М., ³Ибрагимов Р.Ф.

¹Азербайджанский Технический Университет, Баку, Азербайджан

²Военная академия Вооружённых сил Азербайджанской Республики

³Институт Систем управления Национальной академии наук
Азербайджана

i.bayram@mail.ru

Аннотация. В данной работе предметом исследования является анализ показателей эффективности мультисервисных сетей связи на базе архитектурной концепции будущих сетей (Future Network, FN) с использованием технологий программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Networking, SDN) и виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV). В результате исследования, предложена математическая модель (ММ) анализа функционирования мультисервисных сетей связи (МСС) будущего поколения, учитывающая характер полезного и служебного трафиков, особенности гетерогенных сетевых технологий, которые опираются на парадигмы SDN/NFV. На основе модели получены аналитические выражения, которые позволяют

оценить показатели эффективности функционирования МСС при оказании услуги «Triple Play services».

Введение. Одним из основных стратегических направлений для достижения развития цифровой экономики Азербайджанской республики является построение развитой телекоммуникационной инфраструктуры, которая требует существенного модернизирования мультисервисных сетей связи (МСС) на базе архитектурных концепций будущих сетей FN (FN, Future Network).

В настоящее время цифровая экономика становится все более важной движущей силой глобального экономического роста и информационного общества, технической основой которого является Глобальная информационная инфраструктура на базе современной ИКТ для создания единого инфокоммуникационного пространства и единой многооператорской среды [1, 2]. Последние проблемы открывают новые возможности для оказания широкого спектра основных, дополнительных интеллектуальных услуг, а также «Triple Play services» благодаря совместному использованию ресурсов единой инфраструктуры мультисервисных сетей связи общего пользования, что является весьма актуальной.

Известно [1-3], что задачи создания единой многооператорской инфраструктуры и единого инфокоммуникационного пространства в МСС с использованием концепции NGN (Next Generation Network) безусловно важны для решения многих функциональных проблем FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security).

Следует отметить, что в большинстве развитых стран концепция построения МСС на основе NGN в значительной степени реализована. Поэтому ITU-T разработал новую

архитектурную концепцию развития телекоммуникаций – будущие сети (БС). Работы по стандартизации будущих сетей FN начаты ITU-T и ETSI в 2009 г. Уже разработаны некоторые рекомендации по FN в новой серии рекомендаций ITU-T, Y.3000 – 3499.

Вопросы инфокоммуникационного обеспечения цифровой экономики, создания единого инфокоммуникационного пространства и повышения потребности гарантированного качества мультимедийных услуг, оказываемых в сетях связи общего пользования на базе NGN, обусловило появление принципиально новой концепции для построения высокоэффективных мультисервисных сетей связи на базе FN.

Однако, отметим, что между сетями NGN и FN нет принципиальной разницы, т.е нет «каменной стены». Это очень близкие и основательные архитектурные концепции в целом для МСС. Здесь, идет анализ эволюционного, а не революционного пути развития МСС следующего поколения с постепенным переходом к сетям будущего FN. Тем не менее, между вышеупомянутыми сетями есть определенные отличия [3-5].

Принципиальное отличие концепции будущих сетей от сетей NGN в том, что они способны обеспечить новые революционные инфокоммуникационные услуги,

которые трудно и даже невозможно реализовать с использованием ИКТ- технологий [3, 4, 5].

На основе проведенного анализа установлено [1-3], что для построения МСС на базе архитектурной концепции FN с использованием ИКТ, важное место занимают технологии программно-конфигурируемых сетей (ПКС), виртуализации сетевых функций (ВСФ) и мультимедийной связи IMS (IP multimedia subsystem), обеспечивающие управления ресурсами в мультисервисных сетях связи общего пользования и управления услугами сети.

В данной работе рассматривается решение задачи – исследование и анализ показателей эффективности МСС базе архитектурной концепции FN с использованием SDN/NFV для управления потоками трафика при оказании мультимедийных услуг.

Анализ механизмов предоставления мультимедийных услуг в МСС на базе архитектурной концепции FN с использованием SDN/NFV технологий показали, что вопросам обеспечения производительности сети, защиты информации и гарантированного качества обслуживания (Quality of Service, QoS) потоков пакетов служебного и полезного трафиков уделено недостаточное внимание [3, 4, 5].

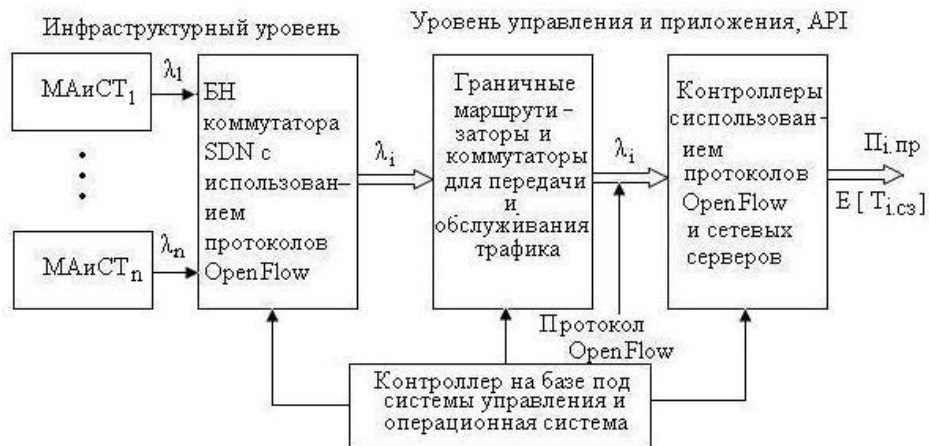


Рис.1. Структурная схема функционирования МСС базе архитектурной концепции FN с использованием технологий SDN/NFV

Для решения поставленной задачи на рис.1 предлагается структурная схема функционирования исследуемой модели МСС на базе архитектурной концепции FN с использованием технологий SDN/NFV, где важным узлом является инфраструктурной уровень, уровень управления и приложения, а управляющим блоком является коммутатора и контроллера с использованием протоколов Open Flow.

Установлено [4, 6], что исследуемая схема функционирования МСС на базе архитектурной концепции FN с использованием технологий SDN/NFV представляет

собой систему массового обслуживания (СМО), которая по классификации Башарина-Кендалла, соответствуют общему типу СМО $M/G/N_k/N_{\text{бн}}$ с некоторыми допущениями [4, 6].

В исследованиях математических моделей в теории телетрафика. учитывается вид входного потока служебного λ_c и полезного λ_n трафиков, схема системы массового обслуживания (СМО) и дисциплина обслуживания. В данном случае рассматривается входной поток с самоподобными свойствами. И определено, что дисциплина обслуживания потока пакетов с возможностью ожидания, а дисциплина обслуживания пакетов из очереди – по правилу FIFO (First input – first output). Схема СМО является многоканальной системой с самоподобным трафиком типа $fBM/G/N_k/N_{\text{бн}}$.

В СМО типа $fBM/G/N_k/N_{\text{бн}}$ поступающий поток пакетов на обслуживание является пуассоновским, с интенсивностью $\lambda_i, i = \overline{1, n}$, длительность обслуживания i -го полезного и служебного трафиков имеет функцию распределения $B(t) = P[B \leq t]$ с преобразованием Лапласа-Стилтьеса $b(s) = E[\exp(-bs)]$ и моментами $b_i, i = \overline{1, n}$.

Для решения поставленных выше задач и учитывая важность взаимодействия технологии SDN/NFV, предлагается математическая модель (ММ) анализа функционирования МСС на основе концепции FN [2, 6, 7]. ММ учитывает показатели эффективности МСС с использованием технологий SDN/NFV, граничные показатели качества обслуживания QoS потоков пакетов служебного трафика при оказании мультимедийных услуг, особенности методов защиты угрозы информационной безопасности, а также свойства самоподобного случайного процесса с показателем Херста, H .

Математическая формулировка задачи предлагаемого ММ для оценки показателей эффективности функционирования МСС на основе технологий SDN/NFV описывается следующими целевыми функциями:

$$W_{\text{эф}} = W[\text{Arg max}_i (E_i(\lambda, H))], \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

при следующих ограничениях

$$T_{i.в.пр} \leq T_{i.в.пр.доп.}, \quad \Pi_{i.макс} \leq \Pi_{i.макс.доп.}, \quad N_k \leq N_{k.доп.}, \quad C_{i.ап} \leq C_{i.ап.доп.}, \quad i = \overline{1, n} \quad (2)$$

где $\Pi_{i.макс}$ – производительность программно-аппаратных средств МСС на основе концепции FN при оказании i -го функционального требования, $i = \overline{1, n}$; $C_{i.ап}$ – стоимость аппаратных и программных средств сетей МСС, $i = \overline{1, n}$; $T_{i.в.пр.}$ – среднее время пребывания i -го потока пакетов, $i = \overline{1, n}$; N_k – общее число используемых в

системе коммутаторов и контроллеров для обслуживания потока пакетов; $C_{i.ap.доп.}$, $T_{i.в.пр.доп.}$, $N_{k.доп.}$ и $\Pi_{i.max.доп.}$ – соответственно допустимое значение величины стоимости аппаратных и программных средств, среднее время пребывания, число обслуживающих коммутаторов-контроллеров при передаче i -го потока пакетов полезного и служебного трафиков, $i = \overline{1, n}$.

Выражения (1) и (2) определяют сущность рассматриваемого нового подхода с учетом самоподобности трафика, на основе которого предлагается математическая модель анализа функционирования МСС с использованием технологий SDN/NFV для оценки показателя эффективности при оказании мультимедийных услуг.

В качестве показателя эффективности МСС на базе архитектурной концепции FN выбрана производительность сети связи с использованием технологий SDN/NFV.

С учетом свойств самоподобия служебного и полезного трафиков, производительность сети $\Pi_{np}(\lambda)$ определяется следующим образом:

$$\Pi_{np}(\lambda, H) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \frac{1}{b_i} \cdot \frac{\rho_i}{F_i(\lambda)}, \quad \rho_i \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

где b_i – время передачи i -го потока пакета трафика и характеризует i -й момент времени обслуживания трафика; $F_i(\lambda)$ – функция штрафа при использовании злоумышленником кибератак на коммутатор ПКС и контроллер SDN с использованием протоколов OpenFlow; β_i – коэффициент штрафа, который определяет время задержки при обработке i -го потока пакета, $i = \overline{1, n}$; ρ_i – коэффициент загрузки узлов коммутации МСС с использованием технологий SDN/NFV при обслуживании i -го потока трафика, $i = \overline{1, n}$.

Выражение (3) характеризует показатели производительности сети с учетом параметров угрозы информационной безопасности в сетях связи, с использованием технологий SDN/NFV с помощью которых можно предотвратить возможные кибератаки и несанкционированный доступ нелегальных пользователей.

Одним из важных показателей эффективности МСС с использованием технологий SDN/NFV является эффективное использование и распределение информационных и сетевых ресурсов в сетях FN [4, 7, 8] при критической загрузке СМО, $\rho_i \leq 1, i = \overline{1, n}$.

В данном случае, именно, сетевые технологии SDN/NFV позволяют эффективно распределить ресурсы ИКТ терминальных, сетевых и канальных оборудования. Кроме того, SDN/NFV были выбраны в качестве ключевых тенденций эволюции МСС, устремивший процесс стандартизации сети FN и сети 5G в новом направлении.

Следует отметить, что сегодня в силу многих причин именно технологии SDN/NFV получили общемировое признание в сообществе операторов связи, поставщиков услуг облачных вычислений, медиа-услуг, и контента, решений интернет вещей (IoT, Internet of Think) и межмашинного обмена (M2M).

На основании данного предположения, коэффициент эффективного использования ресурсов SDN/NFV технологии в узле МСС при обслуживании потоков пакетов трафика выражается следующим образом [7]:

$$\rho_i(\lambda_i, H) = (\lambda_i / V_{ck}) \cdot L_{i,n} \cdot f(H) / \mu_i \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

где μ_i – параметр процесса обслуживания i -го пакета трафика и равно $\mu_i = (V_{ck} / L_{i,n})$, $L_{i,n}$ – длина передаваемого i -го пакета трафика; $f(H) = 2H$ – функция, учитывающая свойство самоподобия поступающих пакетов полезного и служебного трафиков; V_{ck} – средняя скорость работы коммутатора, маршрутизатора и контроллера сети SDN; H – коэффициент Хэрста для потока трафика [6] и равно $H = 1 - 0,5\beta$, $0 < \beta < 1$.

Выражение (4) является необходимым и достаточным условием существования стационарного режима СМО типа $fBM / G / N_k / N_{\text{он}}$ с самоподобным трафиком [7-9].

Теперь, можно анализировать вероятностно-временных характеристик СМО.

Согласно закону сохранения накопленной в очереди работы МСС с использованием ресурсов SDN/NFV технологий для применения облачных, туманных и граничных вычислений, среднее время ожидания обслуживания пакетов трафика определяется выражением [7, 9]:

$$E[T_{\text{ож}}(\rho, H, b_i)] = E[L_{\text{од}}(H, \lambda, C_s^2)] / \lambda_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (5)$$

где $E[L_{\text{од}}(H, \lambda, C_s^2)]$ – средняя суммарная длина очереди пакетов трафика в узле МСС с использованием технологий SDN/NFV определяется формулой Полячека-Хинчина следующим образом:

$$E[L_{\text{од}}(H, \lambda, C_s^2)] = \frac{\lambda}{V_{ck}} \cdot [f(H) / \mu] \cdot L_n + \frac{\rho(1 + C_B^2)}{2(1 - \rho)} \cdot \rho, \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что при использовании оборудования технологии SDN/NFV для облачных, туманных и граничных вычислений в узлах МСС, а также применение СМО общего типа $fBM / G / N_k / N_{\text{он}}$ с самоподобным трафиком, использующие N_k оборудования увеличивается средняя суммарная длина очереди

пакетов трафика. При этом увеличивается коэффициент загрузки системы, и загрузка всей сети определяется следующим выражением:

$$\rho = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot L_n) / (N_k \cdot C_{i.\max}) \cdot f(H) \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

где L_n – средняя длина обслуживаемого трафика в узлах МСС; $C_{i.\max}$ – максимальное значение пропускной способности сети при передаче i -го пакета трафика.

Учитывая последние выражения и используя формулы Полячек-Хинчина можно определить среднее время пребывания пакетов трафика в СМО следующим образом:

$$E[T_{\text{в.пр}}, H] = (1 - \rho)^{-1} - b_1 \cdot (1 - C_B^2) \cdot [(\lambda \cdot L_n) / (N_k \cdot C_{\max}) \cdot f(H)] / [2(1 - \rho)]^{-1}, \quad i = \overline{1, n} \quad (8)$$

Выражения (5),..., (8) определяют вероятностно-временные характеристики узлов коммутации МСС с использованием технологии SDN/NFV и являются показателем качества обслуживания трафика –QoS.

В результате системно-технического анализа МСС на базе архитектурной концепции FN с использованием технологий SDN/NFV предложена ММ в виде СМО с конечной очередью и многоканальная система с самоподобным трафиком общего типа $fB/M/G/N_k/N_{\text{он}}$. На основе ММ получено аналитическое выражение, которое позволяет оценить вероятностно-временные характеристики СМО.

Таким образом, предложенная архитектура, сочетающая в себе оба этих подхода, увеличивает гибкость, производительность и эффективность мультисервисной сети, позволяющие решить одну из ключевых задач цифровой экономики – создания единого инфокоммуникационного пространства. Задачей дальнейших исследований является построение и анализ модели, которая позволяет учитывать возможность приоритизации сообщений в очереди на обслуживание.

Литература

1. Ефимушкин В.А., Ледовских Т.В., Иванов А.Б., Шалагинов В.А. Роль технологий SDN/NFV в инфраструктуре цифровой экономики. Опыт тестирования и внедрения // Электросвязь, №3. 2018. – с.27 – 36.
2. Росляков А.В., Ваняшин С.В. Будущие сети (Future Networks). Самара. ПГУТИ. 2015. - 274с.
3. Ибрагимов Б.Г. Анализ мультисервисных телекоммуникационных сетей связи будущего поколения на базе архитектурной концепции SDN&NFV и IMS//Ученые-записки, № 3. АзТУ. 2018. – с.34-38.

4. Самуйлов К.Е. Ботвинко А.Ю., Зарипова Э.Р. Оценка времени установления сессии между пользователями при наличии межсетевых экранов // Вестник РУДН. Серии «Математика. Информатика. Физика». – М.: Изд-во РУДН. №1. – 2016. – с.59 – 66.
5. Логинов С.С. Об уровнях управления в программно конфигурируемой сети (SDN) // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №3. - с. 50-55
6. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. – М. : Горячая линия – Телеком. 2018. – 516 с.
7. Ибрагимов Б.Г. Исмаилова С.Р. Исследование и анализ эффективности мультисервисных сетей связи при использовании архитектурной концепции NGN // T-Comm, Телекоммуникации и транспорт, Том 8, № 8, Москва, 2014. – с.47 – 50.
8. Vladyko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN testing based on model network // Lecture notes in computer science. 2016 . - P. 539-549 .
9. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 130 с.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ПРИЕМАМИ

Искаков К.Т., Кусаинова А.Т., Токсеит Д.К., Шолпанбаев Б.Б.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Казахстан
e-mail: kazizat@mail.ru, ainurkussainova89@gmail.com

***Аннотация.** В рамках исследовательской работы были исследованы учебные полигоны Евразийского национального университета под руководством профессора Искакова К.Т. Были проведены измерения, по приему отраженных сигналов от заранее известных образцов (мишеней) полигонов. Для проведения экспериментов был использован георадар «Лоза В». В результате исследований были сформированы базы сигналов по данным георадара Лоза В. По результатам работы была составлена карта фактического материала с указанием профилей, расположения аномалесодержащих областей и описанием предполагаемых объектов. Инженерно-техническими приемами определено расположение объектов. Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18 «Разработка алгоритмов и встроенного программного обеспечения по определению геоэлектрического разреза для геоинформационной технологии GPR» (ИРН АР05133922).*

Экспедиция в составе: Профессора кафедры «Вычислительная техника» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева К.Т. Искаковым, профессором Атановым С.К., старшими преподавателями кафедры Боранбаевым С.А., Кусаиновой А.Т., докторантами PhD

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

Узаккызы Н., Токсеит Д., были выполнены работы по геофизическому обследованию полигона искусственных объектов с помощью георадара «Лоза-В».

Задача обследования: геофизическое обследование структуры подстилающих слоев и искусственных объектов для получения радарограмм и ее интерпретация, определение расположения объектов.

Методика исследования - профильное обследование отдельными профилями и площадное обследование с разных антенн.

Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 150 см, 100 см и 50 см, шаг по профилю 20 см, 10 см и 5 см, глубина зондирования до 256 нс. Основной режим – логарифмический.

Были исследованы следующие объекты:

Эксперимент 1. Исследуемый объект «Железная бочка в песке»:

Фактическая глубина залегания: 220 см,

Диаметр: 59 см.

Длина рва составляет 310 см, ширина 71 см. Железная бочка расположена по центру рва. Объект засыпан песком (рисунок 1).



Рис. 1 «Железная бочка в песке»

На следующем рисунке показан эскиз объекта «Железная бочка в песке».

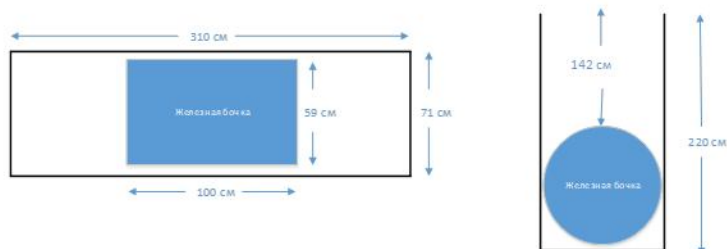


Рис. 2 Схема расположения железной бочки в песке

III Международная научная конференция
«Информатика и прикладная математика»,
26-29 сентября 2018 г., Алматы, Казахстан

Эксперимент 1.1. Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 100 см. Основная подготовка результатов исследования осуществляется с помощью специализированной программы «КРОТ». В первую очередь проведена настройка программы.

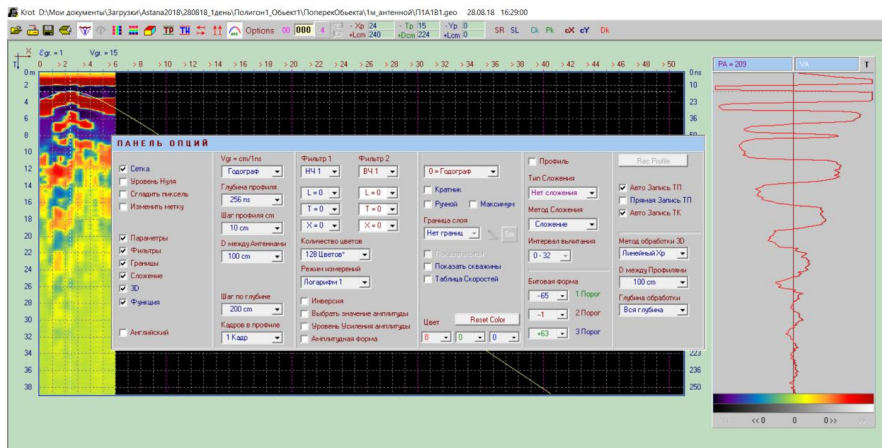


Рис. 3 Обработка радарограммы в программе «Крот» эксперимента 1.1.

В ходе исследования были получены следующие результаты:
Глубина залегания объектов: 217 м

Эксперимент 1.2.

Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 50 см

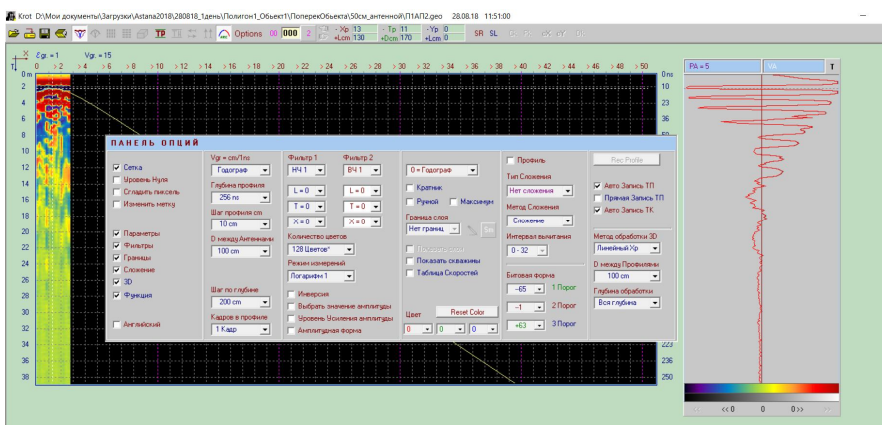


Рис. 4 Обработка радарограммы в программе «Крот» эксперимента 1.2.

В ходе исследования были получены следующие результаты: Глубина залегания объектов: 216 м

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

Эксперимент 2.1 Исследуемый объект «Металлические диски в песке»:

Фактическая глубина залегания: 60 см. Размеры 2х дисков составляют: 40*30

см.

Длина рва составляет 400 см, ширина 60 см.

Однородная среда без примесей.



Рис. 5 Исследуемый объект «Металлические диски в песке»

Схема расположение объектов «Металлические диски в песке» показана на рисунке 6.

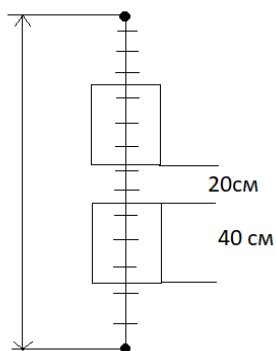


Рис. 6 Схема расположение объектов «Металлические диски в песке»

Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 100 см.

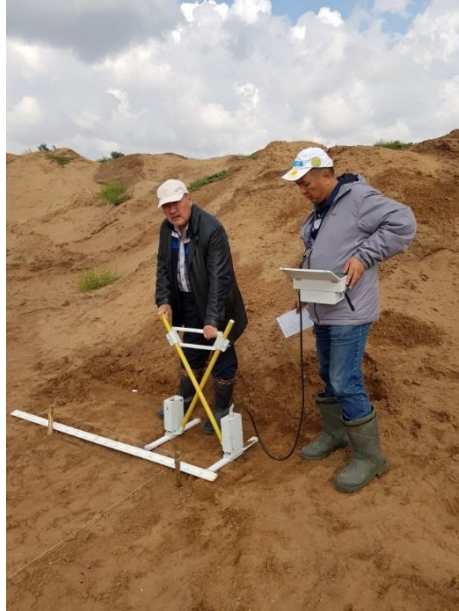


Рис. 7 Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 50 см

На рисунке 8 показана обработанная радарограмма в программе «Крот» результатов эксперимента 2.1.

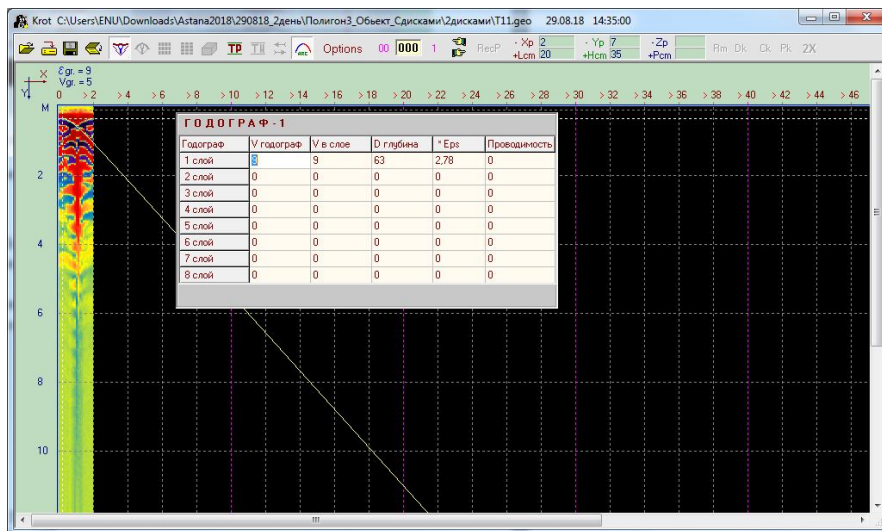


Рис. 8 Обработка радарограммы в программе «Крот» эксперимента 2.1.

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

В ходе исследования были получены следующие результаты:

Глубина залегания объектов: 63 м

Эксперимент выполнен геофизическим комплексом Лоза, антеннами 50 см.

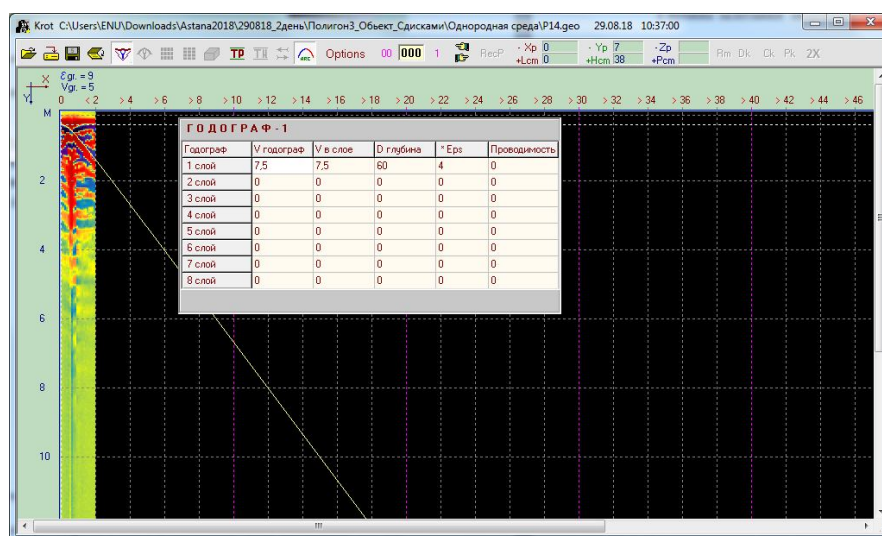


Рис. 9 Обработка радарограммы в программе «Крот» эксперимента 2.2.

В ходе исследования были получены следующие результаты:

Глубина залегания объектов: 60 м

Вывод. В ходе выполненной работы были проведены измерения на научно-исследовательском полигоне, по приему отраженных сигналов от заранее известных образцов (физических свойств объектов) данного полигона. В результате исследования была создана база данных свойств сигналов по данным георадара Лоза В. Все эксперименты были проведены в однородной среде, с связи с этим погрешность измерения была снижена до 5%. В ходе измерения были сравнены результаты с экспериментов с различными антеннами.

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18 «Разработка алгоритмов и встроенного программного обеспечения по определению геоэлектрического разреза для геоинформационной технологии GPR» (ИРН AP05133922).

Литература

1. Kazizat Iskakov, Samat Boranbayev, Zhadyra Alimbayeva, Bahtiyar Isin. Experimental data of research using ground-penetrating radar "Zond-12c" and interpretation Georadarograms // ACTA PHYSICA POLONICA A, Volume 130, January – 2016. – P. 322-324. - URL: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p087.pdf>.

2. Турарова М.К., Пархоменко А.В., Оралбекова Ж.О., Жумажанов Б.Ж., Жунусов К.Д. Инженерно-технические приемы определения глубины зондирования опытного образца георадиолокационной системы // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. - 2016. - №6.

3. Исакаев К.Т., Бердышев А.С., Шолпанбаев Б.Б., Н. Ұзаққызы, Интерпретация радарограмм от искусственных объектов // Вестник КарГТУ. - 2016.

4. Исакаев К.Т., Кусаинова А.Т., Научно-технические основы систем георадиолокации // Материалы международной научной конференции «Информатика и прикладная математика», посвященной 25-летию Независимости Республики Казахстан и 25-летию Института информационных и вычислительных технологий. 21-24 сентября 2016. - г. Алматы 2016. – С. 269-275.

ПРОЕКТНО-КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ ПАРАДИГМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Кубеков Б.С., Жаксыбаева Н.Н., Науменко В.В.,
Утегенова А.У., Аленова Р.А.**

*Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК,
Алматы, Казахстан*

*b.kubekov@mail.ru, 333_nataly@mail.ru, naumenko.v5@mail.ru,
utegenova77@mail.ru, akt_kpi@mail.ru*

Аннотация.

Во многих университетах мира модернизация программ подготовки инженерных кадров к инженерной деятельности осуществляется с использованием подхода CDIO. Данный подход нашел широкое применение в вузах дальнего и ближнего зарубежья и, в частности в Томском политехническом университете Российской Федерации. Как отмечает заведующий кафедрой инженерной педагогики данного университета, д.т.н., профессор Чучалин А.И., подход CDIO для проектирования уровневых программ инженерного образования, является актуальным в связи с требованиями международных стандартов к результатам обучения в вузе и компетенциям профессиональных инженеров. Подход CDIO дает возможность сформировать оптимальные структуры, содержание и технологии реализации и оценки качества уровневых программ инженерного образования.

Как известно, любая профессия базируется на некоей совокупности теоретических знаний и практического опыта. Если эту основу формализовать и соответствующим образом документировать, подобный свод знаний может

стать отправной точкой как для разработки уровневых программ подготовки специалистов, так и для аккредитации академических программ и профессиональной сертификации. В последнее время термин «онтология» стал часто встречаться в литературе по информационным технологиям. В работах Гавриловой Т.А., Субетто А.И., Хуторского А.В., Цукановой Н.И. и др. рассматриваются применения онтологии, как модели предметной области, вопросы разработки базы знаний интеллектуальных систем, использование онтологического подхода к управлению знаниями на базе компетентностного подхода, а также методы разработки учебно-методических комплексов, на основе онтологии.

Анализ различных источников, на предмет применения методик проектно-компетентностного и онтологического подходов по формализации знаний и последующего проектирования дисциплин уровневых программ инженерного образования, показал актуальность и необходимость разработки такой методики. В статье представлено видение иерархической структуры трехуровневой системы инженерного образования, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение», и продемонстрирована методика построения онтологий образовательных ресурсов, с последующей их спецификацией в виде выражений знаний.

Ключевые слова: инженерное образование, компетентностный подход, проектный метод обучения, онтология образовательных ресурсов, формализация знаний, управление знаниями

Введение

Как отмечается в статье Л.В. Боровиковой [13], основное, постоянно обостряющееся противоречие образования, лежит в диалектической взаимосвязи его основных сторон – между обновляющимся содержанием образования, предложенным усложняющейся общественной жизнью, и его имеющейся формой, уже не удовлетворяющей растущие потребности общества. Это противоречие, по утверждению автора, должно разрешаться, как посредством модернизации общества, так и внедрением новых форм его организации, и новыми образовательными технологиями.

На наш взгляд, в этой связи следует также отметить актуальность перевода информационной базы обучения на новую парадигму представления знаний, отвечающей потребностям цифровой экономики, с акцентом на развитие навыков в анализе информации и креативности мышления. Такой перевод информационной базы обучения будет способствовать повышению эффективности и качества обучения, диверсификации методик электронной педагогики и ассортимента образовательных услуг, а также освоению новых образовательных, в том числе Smart-технологий.

Проблема соответствия между усложняющейся общественной жизнью и необходимостью оперативного обновления содержания образования, должна

решаться путем упреждающей модернизации учебных программ и планов подготовки инженерных кадров, и развития эпистемологической функции компетентностного подхода [9]. Необходимость перехода на новую парадигму представления знаний, требует применения инженерии знаний, в частности, методов онтологического инжиниринга, а также внедрения методик по интенсификации учебно-познавательной (когнитивной) деятельности обучающихся.

С учетом проведенного анализа состояния инженерного образования, и задачам, актуальным в свете реализации программы по цифровизации высшей школы, было выявлено, что:

- наблюдается общая тенденция необходимости перехода на новую парадигму информационной базы обучения, так как существующая база не предоставляет в должной мере возможности по диверсификации образовательных технологий и услуг;

- мнение исследователей ближнего и дальнего зарубежья сводится к необходимости интеллектуализации представления учебного контента, создания интеллектуальных программных систем в образовании и переходу на Smart-обучение;

- относительно учебно-методического обеспечения, особенно для инженерных специальностей, явно прослеживается тенденция перехода на проектный метод обучения, как основы методики формирования компетентностной модели выпускника;

- достаточно остро ставится проблема упреждающего планирования учебных планов и проектирования программ обучения, в соответствии с запросами рынка труда, а также управления образовательными процессами с уклоном на индивидуализацию обучения.

1. Концепции и механизмы взаимодействия уровней системы инженерного образования

Решение поставленных проблем необходимо рассматривать в контексте системного представления концепций и механизмов взаимодействия, всех уровней современной системы образования. Покажем наше видение иерархической структуры трехуровневой системы образования, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение».

Данная структура предполагает:

- систему взаимосвязанных учебных планов всех уровней, на принципе согласованности *структурного* и *содержательного* наполнения соответствующих образовательных программ и рабочих учебных планов каждого из уровней;

- иерархичность системы компетенций каждого из уровней, определяющей тот факт, что компетенции верхнего уровня иерархии должны конкретизироваться компетенциями нижнего уровня.

Только грамотная научная-образовательная и учебно-методическая композиция этих уровней инженерного образования, при условии интеграции с проектно-компетентностной парадигмой представления знаний, и обязательным

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

участием экспертов ИТ-индустрии, сможет обеспечить качественную и конкурентоспособную подготовку специалистов соответствующих уровней по современным направлениям и областям цифровой экономики, и оправдать ожидания рынка труда.

На представленном ниже рисунке 1, в нотации языка UML, показана диаграмма трехуровневой системы инженерного образования, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение».

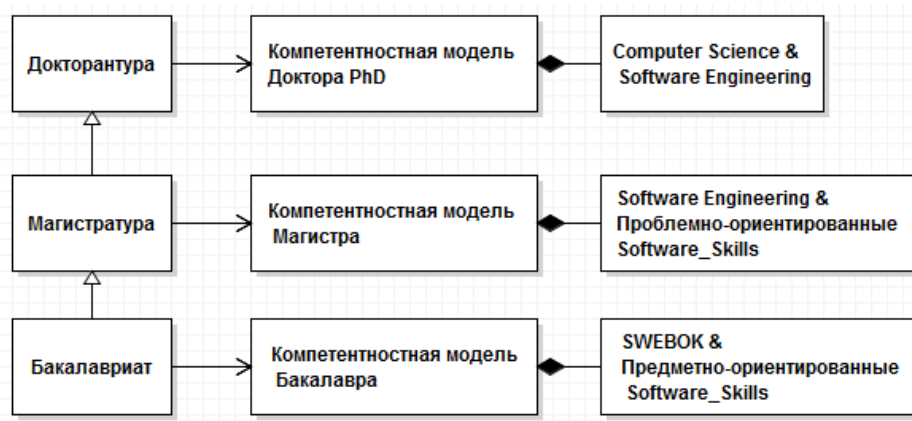


Рис. 1. Трехуровневая система инженерного образования, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение»

Высшим уровнем в иерархии наследования данной диаграммы, является уровень докторантуры - PhD, который должен быть связан с *обучением будущему*, в рамках фундаментальных дисциплин научных направлений Computer science и Software Engineering.

Под понятием «обучение будущему» предполагаются дисциплины, имеющие *долговременный и медленно устаревающий* характер или особенности. Можно также отметить, что дисциплины обучения будущему – это дисциплины, основанные на законах развития индустрии информационно-телекоммуникационных средств, технологий и систем, с учетом прогнозирования такого развития.

Компетентностная модель уровня PhD - композиция универсальных компетентностей направлений Computer science и Software Engineering, фундаментальные и профессионально-ориентированные дисциплины которых составляют научно – образовательную базу уровня PhD, и регламентируют *проблемно-ориентированное обучение*.

К дисциплинам уровня PhD можно отнести, например, следующие:

- Основы разработки и интеграции суперкомпьютерных решений.

- Суперкомпьютерные решения в области высокопроизводительных вычислений и обработки Big Data.
 - Основы построения суперкомпьютеров: архитектура, СХД, инфраструктура.
 - Архитектура параллельных вычислительных систем.
 - Администрирование и управление суперкомпьютерными системами.
 - Парадигмы программирования и новые поколения архитектур программного обеспечения (ПО).
 - Проблемно-ориентированный подход к проектированию архитектуры ПО.
 - Современные принципы кодизайна и гиперконвергентный подход к архитектуре ИТ-инфраструктуры.
 - Data scientist - наука о данных и менеджмент.
- и т.п.

Второй уровень – это уровень магистратуры, который должен придерживаться *гибкого подхода* при реализации *научно-образовательных трендов фундаментальных и профессионально-ориентированных* дисциплин направления Computer science и Software Engineering, уровня PhD.

Компетентностная модель уровня магистратуры является композицией компетентностей направления Software Engineering и проблемно - ориентированных Software_Skills, и составляет основу для планирования учебных планов и программ уровня магистратуры.

Дисциплины учебных планов уровня магистратуры должны быть адаптированы к нуждам реальных потребностей ИТ-индустрии и ориентироваться, в первую очередь, на современные тенденции развития и задачи проблемных областей специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение». Базовые и профилирующие дисциплины магистратуры должны регламентировать *проблемно-ориентированное* обучение, а соответствующий тренд - определять учебно-методическую базу уровня бакалавриата.

К дисциплинам уровня магистратуры можно, например, отнести следующие:

- Хранение данных и управление информацией.
- Аналитические платформы систем интеллектуального анализа данных.
- Бизнес-интеллектуальные технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining.
- Оптимизация хранилищ и OLAP – системы.
- Управление проектами.
- Информационная безопасность: общие аспекты.
- Технологии «Blockchain».
- Облачные вычисления.
- Технологии и алгоритмы систем искусственного интеллекта: машинное обучение, многослойные нейронные сети, нечеткая логика.
- Распознавание образов.
- Онтологии и семантический web в образовании.

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

- Порождающее программирование: методы, инструменты, применение.
 - Мультипарадигменное проектирование.
 - Интернет вещей.
 - Эргодизайн и технологии реализации пользовательского интерфейса. UI/UX – дизайн.
 - Информационные технологии в сфере 3D - графики
 - Интернет-технологии в научно-исследовательской и проектной деятельности магистрантов.
- и т.п.

Начальным уровнем трехуровневой системы образования, является уровень бакалавриата.

Общеобразовательные, базовые и профилирующие дисциплины учебного плана бакалавриата, специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение», должны реализовывать учебно-методические тренды *базовых и профилирующих* дисциплин магистратуры, а компетентностная модель бакалавра - являться композицией компетенций в областях знаний SWEBOK и предметно-ориентированных Software_Skills.

Дисциплины учебных планов уровня бакалавриата должны быть связаны с получением обучающимися инженерных знаний по специальности, опыта проектно - внедренческой деятельности, с развитием у них профессиональных навыков и предметно-ориентированных Software_Skills, по разработке программных продуктов и систем в своей профессиональной деятельности.

К *базовым и профилирующим* дисциплинам уровня бакалавриата, на наш взгляд, должны относиться следующие:

- Дискретная математика.
- Теория вероятностей и математическая статистика.
- Алгоритмы: построение и анализ.
- Структуры данных и алгоритмы вычислений на графах.
- Проектирование по контракту.
- Вычислительные модели и алгоритмы.
- Информационная безопасность: расследование компьютерных инцидентов.
- Инструментальные средства разработки программ.
- Программная инженерия.
- Объектно-ориентированное программирование.
- Web-программирование.
- Телематика и мобильные приложения.
- Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение.
- Разработка приложений баз данных для Web.
- Web-технологии и СУБД.
- Базы и хранилища данных.

- Компьютерная графика и анимация.
 - Сетевые технологии.
 - Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений.
 - Основы компонентной технологии.
 - Основы тестирования программного обеспечения.
- и т.п.

Таким образом, представленная модель трехуровневой системы обучения, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение», предполагает:

- обязательную преемственность учебных планов и программ между уровнями системы обучения;
- определение компетентностных моделей всех уровней системы образования;
- определение научно-образовательных и учебно-методических трендов соответственно уровней PhD и магистратуры;
- необходимость перехода от традиционной информационной базы обучения к инженерии знаний, на основе проектно-компетентностной парадигмы представления знаний, и с использованием методов онтологического инжиниринга;
- разработку механизмов упреждающего планирования и адаптации содержания учебных планов, программ и преподаваемых дисциплин, в соответствии с научно-технологическими вызовами и потребностями рынка труда;
- применение знаниевых компонент многократного применения и их повторного использования для конструирования образовательных программ и учебных планов;
- переход к предоставлению образовательных услуг, с использованием Smart-технологий;
- необходимость открытого управления образовательными процессами и индивидуализации обучения.

2. Проектно-компетентностная парадигма представления знаний

Парадигма - термин, широко используемый в современном проектировании систем и обозначающий способ построения системных абстракций, на основе общности и изменчивости [10]. Под парадигмой в образовании будем понимать базовую модель конкретного способа организации учебной информации, на основе свойств общности и изменчивости и, в целом, как ведущий подход к выбору содержания и форм организации образовательных ресурсов.

В качестве базовой модели отображения знаний, в наших исследованиях, принята сетевая модель – информационная модель предметной области, имеющая вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги задают отношения между ними. Формально сеть можно задать в следующем виде: $H = \langle I, C, G \rangle$, где I – множество информационных единиц; C – множество типов связей между информационными единицами; G –

отображение, задающее конкретные отношения из имеющихся типов (отношений) между элементами. В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги (причем направленные) задают отношения между ними. Таким образом, сетевая модель отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений.

Для конкретизации сетевой модели и дальнейшего практического использования, принята модель онтологии, которая определяется как тройка следующих множеств: $O_m = \langle C, R, F \rangle$, где C – множество понятий (терминов) предметной области; R – множество отношений между понятиями; F – множество функций интерпретации, определения которых заданы на отношениях между понятиями в онтологии.

Визуально, онтологию можно представить ориентированным графом - G , вершинами которого являются понятия, а ребрами - отношения между ними. В наших построениях, модель онтологии представляется ориентированным графом, корневая вершина которого - *опорное понятие* предметной области. Идентификация опорного понятия ограничивается не более чем двумя уровнями дочерних понятий иерархии, в которых любое необязательное конкретизирующее понятие является висячей вершиной, то есть вершиной, не имеющей своих дочерних конкретизирующих понятий.

Таким образом, модель онтологии представляется иерархической структурой понятий, корневой вершиной которой является опорное понятие, второй уровень – *идентифицирующие* понятия опорного понятия и, наконец, третий уровень – *конкретизирующие* понятия каждого из идентифицирующих понятий онтологии [14,15,16,17].

Далее, рассмотрим формализмы каждого из элементов, соответствующих множеств модели онтологии, используемые в специально разработанном языке спецификации знаний – SCL. Данный язык позволяет описывать опорные понятия предметной области в недвусмысленном и формализованном виде. Язык спецификации знаний, во-первых, наделен богатыми возможностями по семантическому отражению декларативных знаний предметной области, и во-вторых, позволяет осуществлять их хранение в репозитории, а также сопровождение и изменение.

Декларативные знания – знания о мире задачи, то есть знания, описывающие свойства предметной области, в которой решается поставленная задача. Декларативные знания, закладываемые в основу компетентностной модели обучающегося, определяют динамичную совокупность знаний, умений и навыков, которые необходимы для его будущей профессиональной деятельности и личностного развития.

В качестве примера, рассмотрим область знания программной инженерии SWEBOOK, связанной с требованиями к программному обеспечению [18,19]. Декларативные знания области знания "Требования к программному обеспечению", можно представить набором из семи опорных понятий: $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$,

каждое из которых, практически, имеет два уровня из идентифицирующих и конкретизирующих понятий. Например, для опорного понятия C_2 – «Требования пользователя», *идентифицирующими* понятиями являются: C_{21} - функциональные требования пользователя; $*C_{22}$ - нефункциональные требования пользователя и $*C_{23}$ - сценарий событий.

Идентифицирующее понятие – понятие первого уровня онтологии опорного понятия, с помощью которого определяются *семантические* и *отличительные свойства* данного опорного понятия, относительно других опорных понятий предметной области.

Конкретизирующее понятие – понятие второго уровня онтологии опорного понятия, которое, в контексте своего идентифицирующего понятия, конфигурирует семантические и отличительные свойства опорного понятия, с помощью типичных, либо всевозможных сочетаний дочерних понятий, обладающих ясным и недвусмысленным описанием опорного понятия.

В выражении знания знаки: ‘*’, ‘+’ и ‘~’ определяют отношения «композиция», «агрегация» и «альтернативный выбор» на понятиях онтологии, обозначающих соответственно свойства общности (обязательности) и изменчивости (необязательности). При этом, отношение «композиция» - отношение, в котором отражается свойство *общности* для дочернего понятия, и *обязательность* его присутствия во всех экземплярах родительского понятия онтологии; отношение «агрегация» - отношение, в котором отражается свойство *общности* для дочернего понятия, и *необязательность* его присутствия в экземплярах родительского понятия онтологии; отношение «альтернативный выбор» - отношение, в котором отражается свойство *изменчивости* дочернего понятия и *необязательность* его присутствия в экземплярах родительского понятия онтологии.

С помощью выражения знания можно формулировать утверждение о любом опорном понятии в виде предиката, который всегда истинен. Предикат - это повествовательное предложение, содержащее предметные переменные, замена которых на константные значения превращает рассматриваемое предложение в высказывание - истинное или ложное.

Введенные типы понятий и отношения на понятиях, покажем на примере области знания программной инженерии SWEBOOK: "Требования к программному обеспечению", декларативные знания которой представим онтологиями семи опорных понятий:

C_1 - Бизнес – требования.

$*C_{11}$ - бизнес-правила;

$*C_{12}$ - ограничения на поведение системы;

$*C_{13}$ - документ - концепция.

C_2 - Требования пользователя.

$*C_{21}$ - функциональные требования пользователя;

$*C_{22}$ - нефункциональные требования пользователя;

$*C_{23}$ - сценарий событий. Данное идентифицирующее понятие является семантическим контекстом второго уровня конкретизации, включающего

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

следующие дочерние понятия: *C₁- вариант использования, +C₂ - диаграмма потоков данных, либо +C₃ - диаграмма переходов состояний, либо +C₄ - таблица " событие-отклик".

C₃ - Требования предметной области.

*C₃₁ - функциональные требования;

*C₃₂ - нефункциональные требования. Данное идентифицирующее понятие является семантическим контекстом второго уровня конкретизации, включающего следующие дочерние понятия: *C₁- цели продукта, *C₂ - атрибуты качества, +C₃ - ограничения внешнего вида и структуры продукта.

C₄ - Системные требования.

*C₄₁ - организация системных требований;

*C₄₂ - метрики качества системных требований;

+C₄₃ - обратные требования.

C₅ - Нефункциональные требования.

*C₅₁ - требования к продукту. Данное идентифицирующее понятие является семантическим контекстом второго уровня конкретизации, включающего следующие дочерние понятия: *C₁ - требования к эксплуатации, *C₂ - требования к эффективности, *C₃ - требования к надёжности, +C₄ - требования к переносимости, *C₅ - обработка ошибок, *C₆ - интерфейсные требования.

*C₅₂ - организационные требования. Данное идентифицирующее понятие является семантическим контекстом второго уровня конкретизации, включающего следующие дочерние понятия: *C₁ - выходные требования, +C₂ - требования на реализацию, *C₃ - требования на стандарты.

*C₅₃ - внешние требования. Данное идентифицирующее понятие является семантическим контекстом второго уровня конкретизации, включающего следующие дочерние понятия: *C₁ - требования на взаимодействие, +C₂- этические требования, +C₃ - юридические требования.

C₆ - Аттестация требований.

*C₆₁- достоверность;

+C₆₂- непротиворечивость;

*C₆₃- полнота;

*C₆₄- выполнимость.

C₇ - Управление требованиями.

*C₇₁- планирование управления;

*C₇₂ - управление изменениями.

Например, для опорного понятия C₅ - «Нефункциональные требования», выражение знания будет иметь следующий вид:

$$C_5 \leq *C_{51}(*C_1 * C_2 * C_3 + C_4 * C_5 * C_6) * C_{52} (*C_1 + C_2 * C_3) * C_{53} (*C_1 + C_2 + C_3); \quad (1)$$

Визуально, полученное выражение знания отображается ориентированным графом, как представлено на рисунке 2, в котором закрашенные кружочки

отображают понятия, имеющие свойство общности, а не закрашенные - имеющие свойство изменчивости.

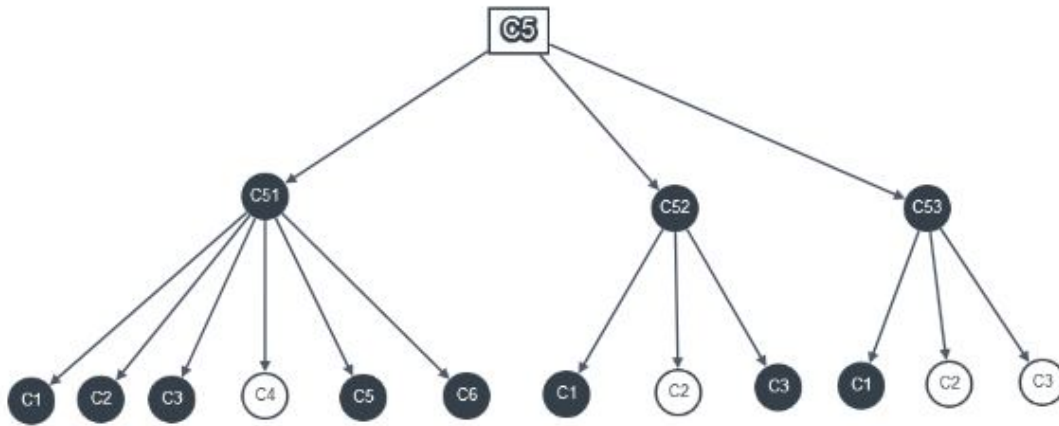


Рис. 2. Граф опорного понятия C_5 - «Нефункциональные требования»

В наших исследованиях также применяется *характеристическая модель*, имеющая аналогичный синтаксис и отношения, но позволяющая отображать связь опорного понятия с характеристиками, значения которых принадлежат определенным типам информации [20].

Характеристика - различимое существенное свойство, а также значимый и доступный аспект понятия. Характеристика, с точки зрения концептуального моделирования, представляет собой *важное свойство*, позволяющее обозначать сходства и различия между экземплярами опорного понятия.

Характеристики незаменимы при формулировании краткого описания свойств понятия и для идентификации различий между экземплярами понятия.

Под *характеристической моделью* F_m будем понимать модель с обобщением характеристик и изменяемых параметров понятия, а также логическим обоснованием композиции и агрегации характеристик, для спецификации важных свойств понятия и его экземпляров. В характеристической модели фиксируются все свойства, с помощью которых реализуется возможность конфигурации знаниевых компонент для повторного использования.

На рисунке 3 показана характеристическая модель F_m понятия C_i .

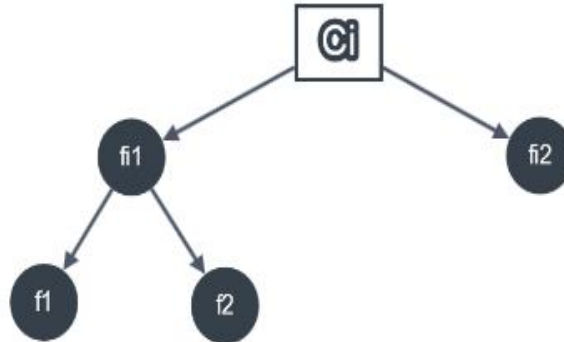


Рис. 3. Характеристическая модель понятия C_i .

Здесь мы видим, что понятие C_i есть композиция обязательных конкретизирующих характеристик f_{i1} и f_{i2} , причем характеристика f_{i1} имеет свой уровень конкретизации, как композиция дочерних обязательных характеристик f_1 и f_2 . Таким образом, экземплярами понятия C_i могут быть допустимые наборы из следующих обязательных характеристик: $\{f_{i1}, f_1, f_2, f_{i2}\}$.

Спецификацию опорного понятия C_i характеристической моделью, назовем *выражением спецификации*, которое будет иметь следующий вид:

$$C_i \leq *f_{i1}(*f_1*f_2) *f_{i2}; \quad (2)$$

Рассмотрим пример характеристической модели *опорного понятия* C - "Указатель на объект программы", темы "Указатель в языке программирования Си", дисциплины "Технология программирования", читаемой на первом курсе студентам специальности "Вычислительная техника и программное обеспечение".

Идентифицирующими понятиями онтологии опорного понятия C являются: C_1 - "Указатель на статический объект программы" и C_2 - "Указатель на динамический объект программы", что можно представить следующим *выражением знания*: $C \leq +C_1*C_2$;

Характеристическая модель опорного понятия "Указатель на объект программы", описывается следующими характеристиками:

- f_1 - значение переменной указательного типа;
- f_2 - прямой доступ к объекту программы;
- f_3 - косвенный доступ к объекту программы;
- f_4 - операции над указателями.

Тогда выражение спецификации характеристической модели будет иметь следующий вид:

$$C \leq *f_1 + f_2 * f_3 * f_4; \quad (3)$$

В виде композиции обязательных идентифицирующих характеристик: f_1 , f_3 , f_4 , и агрегации необязательной характеристики- f_2 .

На рисунке 4, показан характеристический граф опорного понятия C - "Указатель на объект программы":

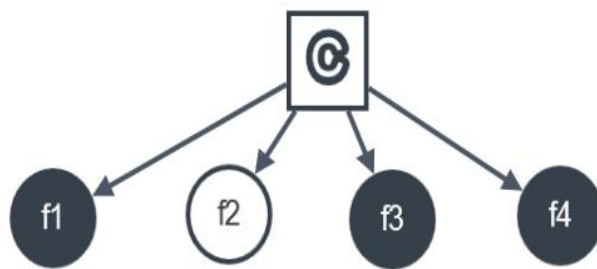


Рис. 4 - Характеристический граф опорного понятия C

Для идентифицирующего понятия C_1 - "Указатель на статический объект программы», были выделены следующие характеристики:

- f_{11} - унарный оператор '&';
- f_{12} - унарный оператор '*';
- f_{13} - указатель на константу;
- f_{14} - константный указатель.

Тогда характеристическую модель идентифицирующего понятия C_1 - "Указатель на статический объект программы", можно представить следующим выражением спецификации:

$$C_1 \leq *f_{11} * f_{12} + f_{13} + f_{14}; \quad (4)$$

как композицию обязательных f_{11} , f_{12} , и агрегацию необязательных дочерних характеристик f_{13} и f_{14} .

Резюме

Таким образом, в данной статье рассмотрено системное видение трехуровневого высшего инженерного образования, на примере специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение». Такое видение предполагает обязательную преемственность учебных планов и программ между уровнями, определение компетентностных моделей всех уровней системы инженерного образования, и на их базе, определение научно-образовательных и учебно-методических трендов.

Представлено решение проблемы перехода на новую информационную базу обучения, основанную на проектно-компетентностной парадигме организации знаний и онтологическом инжиниринге. Переход от традиционной информационной базы обучения к инженерии знаний всех уровней системы инженерного образования, предполагает внедрение инновационных моделей отображения знаний, в основу проектирования которых должен принят проектный метод обучения, согласно инициативы CDIO, и представление каждого из этапов инициативы, соответствующей компетентностной моделью. Декларативные знания, как основа компетентностной модели каждого из этапов CDIO, представляются необходимым и достаточным набором онтологий опорных понятий семантического контента образовательных ресурсов.

Разработанный язык спецификации знаний наделен достаточными возможностями по анализу структуры информации и релевантному отображению семантики образовательных ресурсов; позволяет учитывать свойства общности и изменчивости понятий, что дает возможность конфигурировать знаниевые компоненты многократного применения, и их использование для конструирования учебных дисциплин и индивидуальных образовательных программ.

Данная работа выполнена при поддержке гранта МОН РК (проект № AP 05134973 «Исследование и разработка моделей и методики представления и организации знаний с применением онтологического подхода, и инструментальных средств Smart-технологии, при реализации образовательных программ и процессов»).

Использованные источники

1. Кроули Е.Ф. Программа CDIO: Описание целей и задач бакалаврского инженерного образования, Доклад CDIO №1 изд. МИТ, 2001. [Электронный ресурс]. <http://www.cdio.org>
2. Rethinking Engineering Education, the CDIO Approach, Second Edition/ E. Crawley, J. Malmqvist, S. Ostland, D. Brodeur, K. Edstrom, Springer, 2014. 311p.
3. Чучалин А.И. Модернизация бакалавриата в области техники и технологий, с учетом международных стандартов инженерного образования // Высшее образование в России. 2011. №10.
4. Чучалин А.И. О применении подхода CDIO для проектирования уровневых программ инженерного образования// Высшее образование в России. 2016. №4(200).с. 17-32
5. IAE Graduate Attributes and Professional [Электронный ресурс]. URL:<http://www.ieagreemements.org/IEA-Grad-Attr-Prof-Competencies.pdf>
6. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных систем автоматизации/ Новости искусственного интеллекта. -2003.-№2.- с.24-30.
7. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник. - СПб.: Питер, 2000.

8. Субетто А.И. Интеграционная модель выпускника вуза на базе системодейательностного и компетентностного подхода. – Кострома: Изд-во КГУ им. Н.А.Некрасова, 2005. – с.28
9. Хуторской А.В. Компетентностный подход в обучении. Научно-методическое пособие. - М.: Издательство «Эйдос», 2013. - с.73 (Серия «Новые стандарты»).
10. Елина Е.Г., Фризен М.А. Образовательные технологии и методы высшей школы в США и странах Европы. ж. Образовательные технологии. Издательский дом "Народное образование", 2013. №1- с.31-37.
11. Цуканова Н.И. Онтологическая модель представления и организации знаний. Учебное пособие для вузов.- М.: Горячая линия-Телеком, 2015.- с.272
12. Цуканова Н.И. Онтология учебно-методического комплекса./Цуканова Н.И., Страхова З.В.//Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.-№1.-2013.-5с.
13. Боровикова Л.В. Инновации в образовании через интеграцию онтологического и аксиологического подходов. Ленинградский институт развития образования.- Вестник ОГУ № 2(121)/февраль, 2011. с.84
14. В. Kubekov, I. Utebergenov. The use of multiparadigm approach to knowledge modeling.- // 7th International Conference on Education and New Learning Technologies".- Barselona (Spain), 6th-8th of July 2015.- pp.136-141
15. В. Kubekov, J. Kuandykova, I. Utebergenov, A.Utegenova. Application of the conceptual model of knowledge for formalization of concepts of educational content //9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT2015.- Rostov-on-Don, 14-16 Octoube 2015.- pp. 294-306
16. В. Kubekov. Educational components formation technology for the planned CDIO SYLLABUS education. 9th annual International Conference of Education, Research and Innovation - ICERI2016, Seville (Spain), 14-16 November, 2016, pp.6139-6145 ISBN: 978-84-617-5895-1 / ISSN: 2340-1095.
17. Kubekov B.S., Ditmur Beyr, Utegenova A.U., Zhaksybaeva N.N. Innovative paradigm of education of knowledge - competency form based on ontology. Journal of theoretical and applied information technology 15th November 2017, Vol.95. №21, 2005-ongoing JATIT@LLS (E-ISSN 1817-3195 / ISSN 1992-8645). pp 5859-5868.
18. Вигерс Карл. Разработка требований к программному обеспечению. Пер. с англ.-М.: Издательство - торговый дом "Русская Редакция", 2004.- с.576
19. Кубеков Б.С. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник - Алматы: Экономика, 2011.- 307с.
20. Чарнецки К., Айзенекер У. Порождающее программирование: методы, инструменты, применение. Для профессионалов. - СПб.: Питер, 2005- с.731

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ВЫБРАННОМ РЕГИОНЕ

Кунелбаев М.М., Мерембаев Т., Орманов Т.А., Иржанова А.А.

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК*

e-mail: murat7508@yandex.kz, merembaevt@gmail.com, ormanov.talgat@bk.ru,
irzhanovaai@gmail.com

***Аннотация.** В данной работе производился расчет энергетического баланса плоского солнечного коллектора. За последнее десятилетие число моделей для прогнозирования солнечного излучения на наклонных поверхностях увеличилось. Эти модели применяются в различных областях где требуется специальное измерительное оборудования или ограничения. Чтобы найти наиболее подходящую модель для данного местоположения, предсказанные почасовые выходы по доступным моделям сравниваются с полевыми измерениями данного местоположения. Главной целью данного исследования является расчет интенсивности солнечной радиации на приемной поверхности изменяется в широких пределах в зависимости от высоты стояния солнца и угла падения солнечных лучей, прозрачности атмосферы, влажности воздуха, чистоты прозрачной защиты*

***Ключевые слова:** солнечная радиация, плоский солнечный коллектор, интенсивность солнечной радиации, энергетический баланс.*

1. Введение

Растущее экологическое сознание общества относительно побочных эффектов обычной энергии эксплуатации источников и их более высоких цен заставляют нас использовать возобновляемые источники энергии. Возобновляемые источники энергии доступно почти в неограниченном количестве и полезная форма энергии может быть создана из них применяя специально разработанную технологическую систему.

Глобальная солнечная радиация на метеостанциях обычно измеряется на горизонтальных поверхностях. Тем не менее, чтобы в полной мере использовать солнечное излучение на поверхностях коллектора, обычные стационарные солнечные системы, как солнечные фотоэлектрические, так и плоские солнечные коллекторы, монтируются на наклонных поверхностях. С использованием нескольких моделей почасовое глобальное солнечное излучение на наклонных поверхностях можно оценить по глобальной солнечной радиации. Модели могут использоваться для оценки компонентов почасового глобального солнечного излучения на горизонтальных поверхностях (для прямого и рассеянного излучения)

и наклонных поверхностей (для прямого, диффузного и отраженного от земли излучения). Поскольку на модели оценки сильно влияет широта местоположения, поиск наиболее точной модели для каждого региона является обязательным. С помощью различных статистических индикаторов точная модель может быть найдена путем сравнения измеренных значений и оценочных значений [1]. Поскольку число моделей оценки много, обычно исследователи выбирают некоторые модели, которые были найдены в предыдущих исследованиях как точные модели в разных широтах, близких к их региону широта.

Падающей на солнечный тепловой коллектор или на фотоэлектрическую панель сильно влияет ее угол установки и ориентация [2-4]. Наиболее эффективным методом и самым дешевым расчетом количество солнечной радиации на фотоэлектрическом модуле, является нахождение оптимального угла наклона для получения максимальной солнечной радиации [5].

Для расчётов энергетического баланса существуют несколько моделей. Алгоритм ASHRAE предлагает более простой метод, который широко используется инженерами и архитектурных сообществ [6,7]. Модель Машлера и Икбала Махлер и Икбал [8] изучали оценку почасового диффузного облучения от почасовой глобальной солнечной излучение, измеренное на горизонтальных поверхностях. Они рекомендовали исследовать диапазоны солнечной высоты выше 40° С. Они улучшили неизменяемые А, В и С (модели ASHRAE), в котором улучшение исследований солнечной радиации за предыдущие десятилетия. Модель Паришвада Parishwad et al. [9] оценивали константы модели ASHRAE (А, В и С) с использованием статистических индикаторный анализ измеренных данных солнечной радиации шести городов из разных мест в Индии. Модель Нигеророва пересмотрел константы модели ASHRAE, используя компьютерную программу для прогнозирования почасовая и дневная глобальная солнечная радиация в Ботсване на основе зарегистрированных компонентов солнечной радиации в Ботсване, Намибии и в Зимбабве [10].

Когда солнечный свет проходит через земную атмосферу, некоторые из них, называемые лучом излучения, ударяются о земную поверхность, бросая острые тени [11]. Прямое нормальное излучение на горизонтальных поверхностях можно измерить с помощью инструмента, называемого пиргелиометр. Более того, прямое нормальное излучение можно оценить по числу таких как: модель Птицы [12], METSTAT [13], модель Янга [14], REST2 [15] и Ineichen модель [16].

2. Методы исследования

Для расчета энергетического баланса солнечного коллектора необходимо, прежде всего, иметь данные, характеризующие интенсивность направленной и рассеянной солнечной радиации, падающей на прозрачную поверхность приемника. Интенсивность солнечной радиации на приемной поверхности изменяется в широких пределах в зависимости от высоты стояния солнца и угла падения солнечных лучей, прозрачности атмосферы, влажности воздуха, чистоты прозрачной защиты [6, 7].

При наличии облачности, если она не сплошная, перемещающаяся, установка то затеняется, и тогда на нее падает только рассеянная солнечная радиация, то облучается, тогда не него падает солнечная радиация всех видов.

Такую периодически ослабляемую солнечную радиацию можно рассматривать, как равномерную, но уменьшенную пропорционально облачности, и общее количество радиации, падающей и поглощенной лучевоспринимающей поверхностью установки за время dt будет:

$$\frac{10-n}{10}E_1\varepsilon_1d\tau + \frac{10-n}{10}E_2\varepsilon_1d\tau + E_3\varepsilon_1'd\tau + \frac{10-n}{10}E_4\varepsilon_1d\tau + \frac{n}{10}E_4'\varepsilon_1d\tau + E_5\varepsilon_1''d\tau_0 = E_0(\phi, \sigma, \eta_{отр}, \varepsilon, U, T_0)d\tau \quad (1)$$

где n – облачность в баллах, ε_1 , ε_1' , ε_1'' – интегральные коэффициенты поглощения приемной поверхности установки (ε_1 – солнечный, ε_1' – земной, ε_1'' – атмосферный радиации); U – упругость водяных паров; ϕ – влажность воздуха; $\eta_{отр}$ – коэффициент отражения земной поверхности; E_1 – интенсивность прямой солнечной радиации; E_2 – интенсивность прямой солнечной радиации, отраженной от земной поверхности, E_3 – собственное излучение единицы земной поверхности; E_4 – рассеянная радиация; E_4' – рассеянная солнечная радиация облачного неба; E_5 – интегральное атмосферное излучение в направлении земной поверхности; Q_0 – «солнечная постоянная».

3. Результаты

Земное излучение можно считать достаточно черным и подсчитать по формуле:

$$E_3 = C_T T_0^4, \text{ Вт/м}^2 \text{ ч} \quad (2)$$

где T_0 – температура окружающего воздуха.

Среднее значение интенсивности рассеянной радиации, если пренебречь зависимостью ее от других факторов, кроме высоты солнца

$$E_4 = 70\sqrt{\sin\beta}, \text{ Вт/м}^2 \text{ ч} \quad (3)$$

Интенсивность рассеянной радиации облачного неба зависит от характера облачности. При расчетах могут быть использованы экспериментальные данные [20] или приближенные значения этих данных

$$E_4' = 90n^{1/3}\sin\beta, \text{ Вт/м}^2 \text{ ч} \quad (4)$$

Формула Онгстрема для интегрального атмосферного излучения в направлении земной поверхности

$$E_5 = C_T T_0^4 (0,75 - 0,32 \cdot 10^{-0,069}) U E_1 = Q P^m, \text{ Вт/м}^2 \text{ ч} \quad (5)$$

По формуле Бугера интенсивность прямой солнечной радиации, где P – коэффициент прозрачности атмосферы для низменностей СНГ может быть принят равным 0,75.

$$E_1 = Q_0 P^m, \quad (6)$$

Таблица 1. Годовое изменение коэффициента прозрачности атмосферы и облачности в баллах

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82
n	4,9	4,7	7,8	9,8	12,3	13,1	13,1	12,9	8,9	7,0	7,4	5,6

Массу атмосферы (m) можно подсчитать по известным формулам:

$$m = \frac{H}{H_0} \cdot \frac{j}{58,36'' \cos \beta}, \quad j = 21,5 \frac{H}{H_0} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right), \quad (7)$$

где j – рефракция, H – давление и T_0 – температура на месте измерения.

Если положить на уровне Земли $H = H_0 = 760$ мм. рт. столба, то

$$Q_0 = 1,9 \text{ Вт/см}^2 \text{ мин}; \quad E_1 = 1140 - 0,75 \frac{280}{T_0 \sin \beta} \quad (8)$$

Если поверхность, воспринимающая солнечную радиацию, расположена перпендикулярно направлению солнечных лучей, то интенсивность солнечной радиации E_1 , падающее на эту поверхность, определяется проекцией вектора E_1 нормаль к данной поверхности и может быть вычислена по формуле

$$E_{\text{пад}} = E_{\perp} \xi k_{bx}^{np} \cos i + E_{\text{диф}} \quad (9)$$

или

$$E_{\text{пад}} = 1140 - 0,75 \frac{280}{T_0 \sin \beta \xi k_{bx}^{np} \cos i + E_{\text{диф}}}, \quad (10)$$

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

где $\cos i$ – косинус угла между направлением луча и нормалью к прямой поверхности;

$k_{\text{вх}}^{\text{нр}}$ – коэффициент вхождения прозрачного перекрытия нормально падающим лучам;

ξ – относительный коэффициент прозрачного перекрытия наклонно падающим лучам, характеризует уменьшение количества пропускаемых стеклом лучей, вследствие увеличения длины пути луча в толщине прозрачного перекрытия.

Значения высот стояния солнца для любой широты, времени года, дня и ориентации приемной поверхности можно найти по формуле:

$$\sin \beta = \cos \delta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \varphi \sin \delta \quad (11)$$

где φ – географическая широта местности, град.,

δ – склонение солнца, град.,

γ – часовой угол, град (число часов, отсчитываемое от полудня и умноженное на 15).

Величина склонения солнца δ на 21 число каждого месяца приведена в таблице 2.

Таблица 2. Величина склонения солнца δ на 21 число каждого месяца

Месяц	δ	Месяц	δ	Месяц	δ
Январь	– 19°51	Май	+20°09	Сентябрь	+0°48
Февраль	– 10°38	Июнь	+23°27	Октябрь	–10°38
Март	– 0°09	Июль	+20°32	Ноябрь	–19°53
Апрель	+ 11°47	Август	+12°12	Декабрь	–23°27

В уравнении (10), определяющем интенсивность потока прямой солнечной радиации, падающей на приемную поверхность, требуется установить углы падения солнечных лучей (i) при различных ориентациях установки в отношении стран света.

Этот угол вычисляется для всех моментов по формулам сферической тригонометрии из паралактического треугольника на небесной сфере.

Для наших расчетов воспользуемся следующими уравнениями, приведенными [6,7].

$$\begin{aligned} \cos i_{\text{ю}}^{\text{н}} &= (\cos \delta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \varphi \sin \delta) \cos \Delta + \\ & (\cos \delta \sin \varphi \cos \gamma - \cos \varphi \sin \delta) \sin \Delta; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \cos i_{\text{ю-з,ю-и}}^{\text{н}} &= (\cos \delta \cos \varphi \cos \gamma + \sin \varphi \sin \delta) \cos \Delta + \\ & 0,707 (\cos \delta \sin \varphi \cos \gamma - \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \sin \gamma) \sin \Delta; \end{aligned}$$

Δ – угол наклона установки к горизонту.

В этих формулах верхние индексы при $\cos i$ показывают расположение установки: н – наклонное. Нижние индексы показывают ориентацию по странам света: ю – юг, ю-з – юг-запад.

При среднем значении $\rho = 0,33$ и $T_0 = 300$ К вычислить, пользуясь (9), значения E_n (наклонных) и E_g (горизонтальных) приемных поверхностей для летних и осенних условий, как функций от высоты солнца, определяемой из (11).

Значения E_n и E_g для летних и осенних условий приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения E_n и E_g для летних и осенних условий в зависимости от высоты солнца

Высота солнца		1	3	5	10	20	30	60	90
Лето	E_n	54,5	148	226	372	550	654	786	815
	E_g	0,95	7,7	19,7	64,5	188	326	681	815
Осень	E_n	57,3	158	243	398	588	699	840	870
	E_g	1,00	8,2	21,2	69,0	201	349	726	870

E_n – падающее солнечное излучение для наклонных поверхностей;

E_g – падающее солнечное излучение для горизонтальных поверхностей.

Как видно из таблицы, при больших высотах солнца интенсивность солнечной радиации мало зависит от высоты солнца, тогда как при малых высотах солнца небольшое изменение высоты солнца сопровождается очень большим уменьшением солнечной радиации.

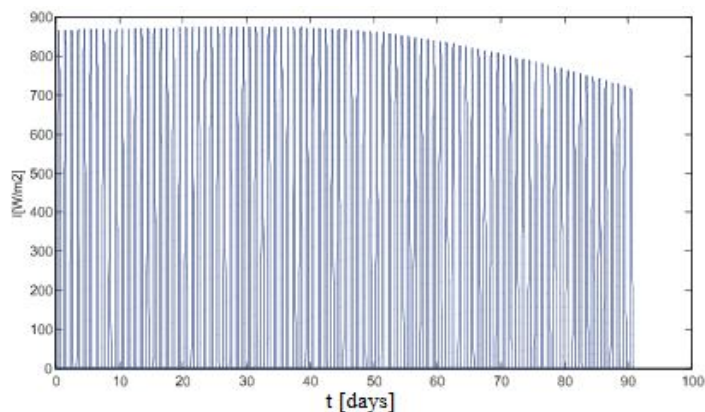


Рис.1 Интенсивность солнечной радиации, которая достигает вертикальной поверхности стенки ($s = 900$) для восточной ориентации $\Psi = 00$

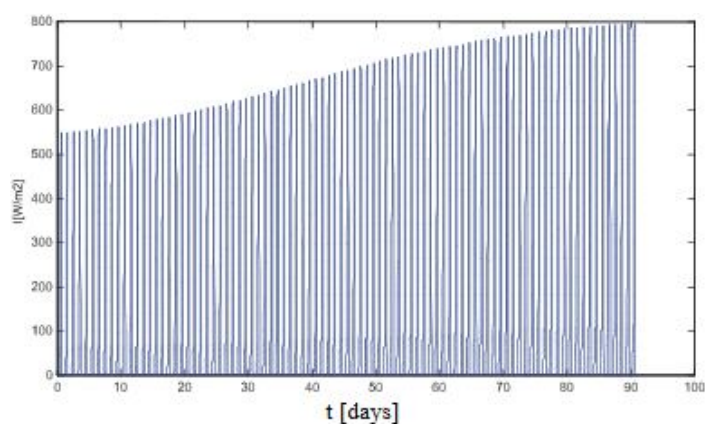


Рис.2 Интенсивность солнечной радиации, которая достигает вертикальной поверхности стенки ($s = 900$) для восточной ориентации $\Psi = +900$

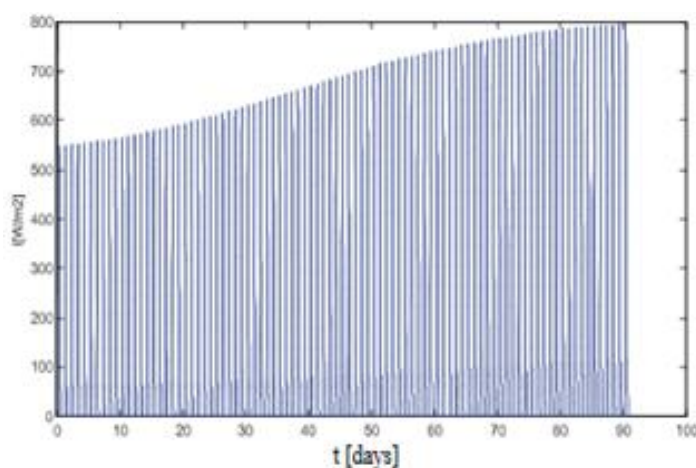


Рис.3. Интенсивность солнечной радиации, которая достигает вертикальной поверхности стенки ($s = 900$) для восточной ориентации $\Psi = -800$

Заключение

Для расчета энергетического баланса плоского солнечного коллектора необходимо, прежде всего, иметь данные, характеризующие интенсивность направленной и рассеянной солнечной радиации, падающей на прозрачную поверхность коллектора. По алгоритму ASHRAE рассчитана интенсивность солнечной радиации на приемной поверхности, показано, что она изменяется в широких пределах в зависимости от высоты стояния солнца и угла падения солнечных лучей величина склонения солнца δ в Алматинской области Республики Казахстан.

Литература

1. Gueymard, C.A. A review of validation methodologies and statistical performance indicators for modeled solar radiation data: Towards a better bankability of solar projects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 39, 1024–1034. [CrossRef]
2. El-Sebaei, A.A.; Al-Hazmi, F.S.; Al-Ghamdi, A.A.; Yaghmour, S.J. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. *Appl. Energy* 2010, 87, 568–576. [CrossRef]
3. Koussa, M.; Saheb-koussa, D.; Hamane, M. Effect of a daily flat plate collector orientation change on the solar system performances. In *Proceedings of the IEEE 7th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Hammamet, Tunisia, 22–24 March 2016.
4. Demain, C.; Journée, M.; Bertrand, C. Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces. *Renew. Energy* 2013, 50, 710–721. [CrossRef]
5. Khatib, T.; Mohamed, A.; Mahmoud, M.; Sopian, K. Optimization of the Tilt Angle of Solar Panels for Malaysia. *Energy Sources A Recover. Util. Environ. Eff.* 2015, 37, 606–613. [CrossRef]
6. Yadav, A.K.; Chandel, S.S. Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 33, 772–781. [CrossRef]
7. ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.
8. Machler, M.A.; Iqbal, M. A modification of the ASHRAE clear sky irradiation model. *ASHRAE Trans.* 1967, 91, 106–115.
9. Parishwad, G.; Bhardwaj, R.K.; Nema, V.K. Estimation of hourly solar radiation for India. *Renew. Energy* 1997, 12, 303–313. [CrossRef]
10. Nijegorodov, N. Improved ashrae model to predict hourly and daily solar radiation components in Botswana, Namibia, and Zimbabwe. *WREC* 1996, 9, 1270–1273. [CrossRef]
11. Al-Rawahi, N.Z.; Zurigat, Y.H.; Al-Azri, N.A. Prediction of hourly solar radiation on horizontal and inclined surfaces for Muscat/Oman. *J. Eng. Res.* 2011, 8, 19–31.
12. Bird, R.E.; Hulstrom, R.L. A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surface; Solar Energy Research Institute: Golden, CO, USA, 1981; p. 46.
13. Maxwell, E.L. METSTAT—The solar radiation model used in the production of the national solar radiation data base (NSRDB). *Sol. Energy* 1998, 62, 263–279. [CrossRef]
14. Yang, K.; Koike, T. A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. *Water Resour. Res.* 2005, 41, 1–13. [CrossRef]

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

15. Gueymard, C.A. REST2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation—Validation with a benchmark dataset. Sol. Energy 2008, 82, 272–285.[CrossRef]

16. Ineichen, P. A broadband simplified version of the Solis clear sky model. Sol. Energy 2008, 82, 758–762.[CrossRef]

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ НАВОДНЕНИЙ

Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З.

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан
e-mail: ziyatbekova@mail.ru*

***Аннотация.** Работа посвящена актуальной проблеме о применении геоинформационных систем. Конкретно рассматривается мониторинг уровня воды в водоемах для предотвращения наводнений. Проведен обзор по данной тематике, рассмотрены различные причины, приводящие к авариям на дамбах. Приведенные различные примеры показывают, что самым оптимальным способом предотвращения прорыва гидротехнических сооружений является постоянный автоматизированный мониторинг уровня воды. Данная информация в последствии используется для прогнозирования аварийной ситуации.*

Несмотря на принимаемые меры, проблема прогнозирования и моделирования природных и техногенных катастроф в настоящее время является одной из самых важных и актуальных. В частности, опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с затоплением территорий, остается очень высокой, продолжает увеличиваться количество пострадавших и экономический ущерб от наводнений. Из стихийных природных бедствий наводнения (затопление водой местности и населенных пунктов) по повторяемости явления, площади распространения и ежегодному материальному ущербу занимают первое место. Более того, в последние годы в мире отмечается рост числа и масштабов наводнений и связанных с ними социальных и экономических потерь. В настоящее время наводнения как стихийное бедствие не могут быть целиком предотвращены везде и всюду, их можно только ослабить, локализовать и при своевременном предупреждении свести к минимуму материальный ущерб.

Основными методами борьбы с наводнениями являются осуществление комплекса мер по предотвращению или смягчению последствий наводнений

(строительство гидротехнических сооружений по регулированию стока, создание оградительных дамб и т.д.) и своевременное оповещение о возможности и масштабах наводнения. Для управления действиями по предотвращению нежелательного развития событий и преодолению последствий наводнений необходимо привлечение больших объемов разнородных данных, поступающих из различных источников (картографическая, аэрокосмическая, гидрологическая информация), оперативная обработка и анализ этой информации, и представление ее в виде, обеспечивающем принятие решений в ограниченных временных рамках.

На современном этапе развитие программно-математических средств и информационных технологий сбора, обработки, анализа и отображения пространственных данных создаст предпосылки для создания новых технологий по прогнозированию и оценке масштабов наводнений, определению зон затопления для своевременного проведения комплекса неотложных мероприятий, направленных на снижение опасности наводнений и уменьшение негативного их воздействия на условия проживания населения и функционирование хозяйственных объектов. В настоящее время без средств автоматизации не достичь высокого качества и скорости выполнения работ по моделированию и прогнозированию природных процессов и явлений, а также связанных с ними чрезвычайных ситуаций. В связи с развитием информационных технологий наступил период, когда нужно решать комплексные задачи по управлению половодьями и паводками для защиты населения и объектов экономики от наводнений с интеграцией разнородных информационных ресурсов из различных источников на основе общего, системного принципа. Идеально отвечают такой потребности геоинформационные системы (ГИС). ГИС, с одной стороны, родственны системам управления базами данных (СУБД), а с другой - графическим пакетам, прежде всего системам автоматизированного проектирования (САПР). Они позволяют привязывать базы данных к графическим объектам, то есть данные к пространственному положению объектов. А задачи, связанные с прогнозированием и оценкой последствий чрезвычайных ситуаций, требуют именно такого подхода [Jackson, et al., 1980]. Многие ГИС-аналитики утверждают, что до 80% информации, связанной с деятельностью человека, имеет пространственное распределение и, следовательно, лежит в области компетенции ГИС [Даниленко, 2006].

ГИС-технологии развиваются довольно давно, накоплен значительный опыт их использования. Однако вплоть до сравнительно недавнего времени их применение было возможно лишь на основе мощных и дорогих ЭВМ. Совершенствование вычислительной техники привело к тому, что все более широкие возможности ГИС-технологий становятся доступны пользователям обычных персональных компьютеров.

В толковом словаре по геоинформатике под редакцией А.М.Берлянта и А.В.Кошкарева дано следующее определение ГИС. «Географическая информационная система (geographic(al) information system, GIS, spatial information system) - син. геоинформационная система, ГИС - информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и

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

распространение пространственно-координированных данных (пространственных данных). ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадротомических и иных), включает соответствующий задачам набор функциональных возможностей, в которых реализуются операции геоинформационных технологий, поддерживается программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением». [Берлянт, Кошкарев, 1997; Геоинформатика., 1999].

А.В.Кошкарев даёт и такое определение ГИС: это «аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных географических задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества» [Кошкарев, 1990].

Определение В.С.Тикунова звучит следующим образом: «ГИС — это интерактивные системы, способные реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, оценку, отображение и распространение данных и как средство получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях» Современные средства исследования системы «общество - природная среда» [Тикунов, 1989].

В литературе можно встретить следующие определения ГИС: это «реализованное с помощью автоматических средств (ЭВМ) хранилище системы знаний о территориальном аспекте взаимодействия природы и общества, а также программного обеспечения, моделирующего функции поиска, ввода, моделирования и др.» [Трофимов, Панасюк, 1984].

ГИС предназначены для решения научных и прикладных задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления окружающей средой и территориальной организацией общества. Основу ГИС составляют автоматизированные картографические системы, а главными источниками информации служат различные геоизображения». Геоинформационные системы - явление новое, хотя сбор пространственных данных занятие столь же старое, как и занятие картографией. Можно сказать, что каждый атлас представляет собой одну из форм ГИС, т.к. содержит в себе множество разнообразных данных из разных источников. В 50-е годы прошлого века возникла практическая возможность создания эффективных ГИС благодаря появлению ЭВМ. Внедрение ЭВМ в повседневную практику позволило ускорить и сделать более гибким процесс сбора, отображения и анализа данных, а также обеспечило создание средств автоматического картографирования [Соррочк, Anderson, 1987].

Считается, что первая реально работающая ГИС появилась в Канаде (КГИС) более 50 лет назад, в начале 1960-х годов. Эта крупномасштабная ГИС развивается и поддерживается и в настоящее время. Она стала результатом осознанной

потребности, когда политические деятели поняли ее способность связывать различные виды информации и осознали медлительность ручной обработки. Назначение ГИС Канады состояло в анализе многочисленных данных, накопленных Канадской службой земельного учета (Canada Land Inventory), которые бы использовались при разработке планов землеустройства больших площадей сельхозназначения [Трифорова и др., 2005].

Существует и альтернативная версия, согласно которой, следы первой геоинформационной системы теряются в недрах Министерства обороны США, сотрудники которого использовали ГИС для точности попадания ракет. Так или иначе, но уже в начале 1970-х годов ГИС начали использоваться для вывода координатно-привязанных данных на экран монитора и для печати карт на бумаге.

Первые геоинформационные системы позволили усовершенствовать процессы инвентаризации и анализа карт, благодаря первым ГИС появилась возможность хранения большого количества тематической и географической информации [Coppock, Anderson, 1987].

Позже стало разрабатываться специальное программное обеспечение для решения различных геоинформационных задач. В середине 1980-х гг. были созданы программные продукты для систем автоматизированного проектирования (САПР). С их помощью производилось автоматизированное составление карт.

В начале 1990-х годов появились интегрированные программные продукты и информационные системы, позволяющие осуществлять интеграцию различных видов информации. Начался новый этап в развитии ГИС как автоматизированной интегрированной информационной системы [Де Мерс, 1999; Кузнецов, Никитин, 1992].

Таким образом, в истории развития геоинформационных систем можно выделить четыре периода:

1. 1950-е - начало 1970-х годов - период исследования, первых крупных проектов и теоретической работы;
2. конец 1970-х - начало 1980-х - период формирования государственных институтов в области ГИС, развития крупных проектов, поддерживаемых государством;
3. начало 1980-х - середина 1990-х - развитие рынка ГИС, появление и развитие настольных ГИС, появление сетевых приложений, а также значительного числа непрофессиональных пользователей;
4. конец 1980-х - настоящее время - начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры, повышается конкуренция среди производителей ГИС, начинают проводиться конференции пользователей.

В настоящее время ГИС - это индустрия, в которую вовлечены миллионы людей во всем мире. По ряду оценок в 2000 году общие продажи программного ГИС обеспечения превысили 1 млрд. долл. США, а с учетом сопутствующих программных и аппаратных средств рынок ГИС приближается к 10 млрд. [Основы геоинформатики, 2004]. Бурное распространение геоинформационных технологий привело к тому, что сегодня на российском рынке действует уже более 150

организаций и фирм, распространяющих программное обеспечение для ГИС-проектов [Родионов, Коровин, 2003].

Все ГИС можно разделить на следующие основные классы.

По функциональным возможностям:

- полнофункциональные ГИС общего назначения;
- специализированные ГИС ориентированы на решение конкретной задачи в какой-либо предметной области;
- информационно-справочные системы для домашнего и информационно-справочного пользования.

Функциональные возможности ГИС определяются также архитектурным принципом их построения:

- закрытые системы не имеют возможностей расширения, они способны выполнять только тот набор функций, который однозначно определен на момент покупки;
- открытые системы отличаются легкостью приспособления, возможностями расширения, так как могут быть доработаны самим пользователем при помощи специального аппарата (встроенных языков программирования).

По пространственному охвату:

- глобальные;
- общенациональные;
- региональные;
- локальные.

По проблемно-тематической ориентации:

- общегеографические;
- экологические и природопользовательские;
- отраслевые;

По способу организации географических данных:

- векторные;
- растровые;
- векторно-растровые ГИС.

Оценить качество и точность моделирования распространения волны прорыва по руслу реки является непростой задачей. Истинный результат в таких исследованиях никому не известен. Также не существует единственно верного способа, позволяющего получить достоверные результаты. При использовании любого из методов получают только ориентировочные данные о зонах затопления, получившихся в результате прохождения волны прорыва. Точность полученных результатов оценить сложно. Для оценки экологической безопасности региона необходим анализ больших объемов разнородной информации, несогласованность целей различных государственных органов. Решение таких задач невозможно без использования современных информационных систем поддержки принятия решений. В последнее время широкое распространение получили системы мониторинга, основанные на ГИС-технологии, которые помогают ускорить и

повысить эффективность процедуры принятия решений, обеспечивают представление результатов анализа в наглядном и удобном для восприятия виде [5]. Для моделирования волны прорыва возможны следующие методы: физический эксперимент, лабораторный эксперимент, численное компьютерное моделирование. Единственным на сегодняшний день возможным способом является математическое моделирование [6].

Теоретическому исследованию различных модификаций математических моделей гидрологических процессов посвящены диссертации [8-11]. Другое направление теоретических исследований посвящено прогнозированию последствий разрыва дамб и плотин [12-13].

Для практического применения разрабатываются системы мониторинга состояния водоемов в реальном времени, основанные на автоматизации процесса сбора и обработки информации. В основном автоматизированные системы мониторинга применяют следующие датчики: инклометрические; течи; деформации; температуры; давления на грунт; уровня воды [14-16].

При работе гидротехнических сооружений, в частности плотин, разрушение напорного фронта гидроузлов является одним из самых опасных случаев аварий, приводящих к существенным экономическим, экологическим и социальным последствиям, а также влияющих в значительной степени на экологию нижнего бьефа гидроузлов. Для информационных систем мониторинга нужно обеспечить сбор данных в реальном режиме времени.

Выводы

Обобщив все обязательные условия, можно подойти к выводу, что решение задачи мониторинга уровня воды в озерах, реках, морях и гидротехнических сооружениях находится в применении систем «Автоматизированная подсистема энергоснабжения спутниковых систем передачи данных» и «Унифицированная система передачи данных» в комплексе с измерительными средствами. Унифицированная система передачи данных предоставляет средства и инструменты для организации передачи данных посредством спутниковых систем связи. Автономная подсистема энергоснабжения для спутниковых систем передачи данных включает в себя комплекс оборудования, функции которого заключаются в выработке и накоплении энергии для последующего его использования в целях обеспечения электропитания оборудования передачи данных. Оборудование измерений уровня воды может быть различным. Для обеспечения функционирования системы измерительное оборудование будет сопрягаться с подсистемой передачи данных и подсистемой энергообеспечения. Сопряжение указанных систем позволит осуществлять мониторинг уровня воды в озерах, расположение которых является крайне труднодоступным. Технические средства, измеряющие уровень воды, должны быть способны получать данные с датчиков с различной периодичностью. Как было сказано выше, данные, поступающие с измерительного оборудования, будут передаваться в центр сбора и обработки данных посредством низкоорбитальных космических систем связи

(НКСС). Накапливаемые данные будут передаваться в ситуационные центры и использоваться специальными службами для прогнозирования возможных паводков и наводнений, подсчета расхода воды и в прочих целях. Система мониторинга может быть связана с другими автоматизированными системами, например системами забора и сброса воды на плотинах гидроэлектростанций, системами тревожного оповещения, и прочими функционально взаимосвязанными системами. Внедрение системы мониторинга уровня воды позволит осуществлять профилактику возникновения чрезвычайных ситуаций.

Работа выполнена за счет средств грантового финансирования научных исследований на 2018-2020 годы по проекту АР05131027 «Разработка биометрических методов и средств защиты информации».

Литература

1. Абрахин С.И., Прокошев В.Г., Аракелян С.М. Математическое моделирование последствий прорыва плотины на реке с применением ГИС-технологий. // XII Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика – 2005»: Санкт-Петербург, СПБИТМО – 2005, т. 1, С. 216-217.
2. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 304 с.
3. Немировский А.А. Разработка метода формирования намывного хвостохранилища, утойчивого к ветровым потокам. – М.: Дис. канд.техн.наук, 2016. – 131 с.
4. Снигур К.С. Математическое моделирование русловых процессов в каналах с песчано-гравийным основанием. – Комсомольск-на-Амуре: Дис. физ.-мат.наук, 2016. – 148 с.
5. Храбрый А.И. Численное моделирование нестационарных турбулентных течений жидкости со свободной поверхностью. – Санкт-Петербург: Дис. канд.техн.наук, 2014. – 154 с.
6. Тарасов Е.Б. Разработка методики оценки устойчивости насыпных и намывных дамб. – Екатеринбург: Авт. дис. канд.техн.наук, 2007. – 20 с.
7. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирования последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2012, № 1(15), с.10-21.
8. Кучук Н.Г. Обобщенная математическая модель процесса оперативного управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций глобального характера // Системнообработка информации, 2015, выпуск 3 (128), с.140-143.
9. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. – М.: «Радио и связь», 2006. – 96 с.
10. Фрайден Дж. Современные датчики. – М.: «Техносфера», 2005. – 592 с.
11. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Датчики (перспективные направления развития). – Новосибирск: НГТУ, 2001. – 176 с.

УДК 543. 08

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Нуржанов¹ Ч., Найзабаева¹ Л., Pidlisnyuk² V., Сатымбеков¹ М.

¹Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Алматы, Казахстан

²Jan Evangelista Purkyně University, Usti nad Labem, Czech Republic
naizabayeva@gmail.com, darkeremite@yandex.kz, pidlisnyuk@gmail.com

Аннотация. В данной статье приведены результаты регрессионного анализа, направленные на установление математической зависимости накопления тяжелых металлов в вегетативных органах растений в зависимости от условий среды. Исходными переменными служили коэффициент биологического поглощения 12 тяжелых металлов (As, Pb, Cd, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Ba, Sr, V, Mn), кислотность почвы, влажность почвы и температура воздуха. Регрессионный анализ показал, что основными предикторами, оказывающие наибольшее влияние на миграцию тяжелых металлов в системе «почва-корень-надземная часть» являются кислотность и влажность почвы. Значения коэффициента детерминации близки к значению 1, что свидетельствует о статистической достоверности результатов исследования, а высокие значения критерия Фишера подтверждают о статистической надежности уравнений в целом.

Ключевые слова: регрессионный анализ, тяжелые металлы, растение, почва, факторы среды

Введение

Одним из активно развивающихся направлений в экологической биотехнологии является разработка стратегии восстановления земель, загрязненной ксенобиотиками. Фиторемедиация одна из стратегий, которая используется для восстановления загрязненной ксенобиотиками почвы с помощью растений. Данная технология успешно развивается и используется во многих странах мира, в том числе Казахстане [1-4]. Процесс фиторемедиации загрязненных земель связано принципами компартментализации физиологии растительного организма. В основу схематического представления физиологических процессов фиторемедиации входят процесс: экстракции корневой системы загрязнителя из почвы; транслокация загрязнителя из корневой системы в стебли растительного организма; транслокация загрязнителя из стебля в листья. В связи с этим, основным параметром,

оценивающей фиторемедиационный потенциал растительного организма, являются коэффициент биологического поглощения (КБП). КБП рассчитывается как отношение содержания химических элементов в вегетативных органах растений к его содержанию в почве и используется для оценки связи среды и физиологической роли химического элемента, а также для выявления участия каждого химического элемента в биотическом круговороте и параметром толерантности растений к загрязнителю [5].

Коэффициент биологического поглощения разных элементов в процесс биологической миграции в системе «почва – корень – надземная часть» неодинаков и зависит от ряда внешних и внутренних факторов. Поэтому математическое моделирование и прогнозирование распределения ксенобиотика в системе «почва-растение» в зависимости от внешних и внутренних факторов позволяет выявить скрытые причинно-следственные связи между наблюдаемыми параметрами. В связи с этим, разрабатываются различные математические модели влияния различных факторов среды на поглощение растением ксенобиотиков из загрязненной почвы. Модели основаны в основном на уравнение баланса массы, которые описывают перенос загрязняющих веществ в системе «почва – корень – надземная часть» [6, 7]. Особый интерес вызывают математические модели, описывающие модели поглощения, связанные с сочетанием влажности почвы, динамики роста корней с учетом адсорбции ксенобиотика, дисперсией, адсорбцией и десорбцией [8, 9].

Поглощение и накопление загрязнителя растением это сложный комплексный процесс, в котором участвуют физические, биологические и химические факторы [10]. До конца не известны механизмы биоаккумуляции, связанные с биодоступностью ксенобиотика ризосферой, скоростью поглощения загрязнителя корнями; скорость миграции загрязнителя по ксилеме к побегам и толерантностью клеток к токсическим веществам [11, 12]. Поэтому сложно охватить сразу все аспекты моделирования фиторемедиационной технологии. Поэтому модели биоаккумуляция обычно фокусируются на транспорте и накоплении их в вегетативных органах растительного организма [7], создаются также различные типы модели, учитывающие влияние динамики микробной биомассы на деградацию загрязняющих веществ в корневой зоне [13-15]; модели, связанные с учетом агротехники и с внесением хелатирующих агентов для усиления детоксикации загрязнителя [16, 17]. Актуальность исследования связано с тем, что очистка загрязненной почвы является важной проблемой для окружающей среды, экономики и здравоохранения. В частности, химическая деградация затрагивает около 12% земель в мире, в том числе Казахстане [18, 19].

Цель исследования: разработать математическую модель накопления загрязнителя растением в зависимости от условий среды (кислотности, влажности почвы, температуры среды) с помощью регрессионного анализа.

Методы исследования и материалы

Экспериментальные данные были получены в рамках проекта МОН РК 0451/ГФ4. Объект исследования - новый фиторемедиант *Miscantus x giganteus* (мискантус гигантский). *M. giganteus* выращивали на почве, загрязненной тяжелыми металлами ($Zc=20.0\pm 3.1$ мг/кг) в условиях теплицы с учетом климатических и агротехнических условий среды [20, 21].

При проведении регрессионного анализа в качестве результативного показателя (y) использовали коэффициент биологического поглощения тяжелых металлов (As, Pb, Cd, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Ba, Sr, Mn) растением, а в качестве переменных факторов (x) – кислотность почвы (рН 8,13-8,94), влажность почвы (влажность почвы 8-11%) и температуру воздуха (21-30°C).

Регрессию рассчитывали по следующей формуле:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_kX_k,$$

где X_1, \dots, X_k – факторы, b_0, \dots, b_k – коэффициенты регрессии.

Качество полученных регрессионных моделей оценивали с использованием коэффициента детерминации (R^2) с помощью дисперсионного анализа.

Результаты и их обсуждение

На основании расчета, получено эмпирическое уравнение регрессии коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением, произрастающие на загрязненной тяжелыми металлами почве, с учетом величины достоверности аппроксимации. Регрессионный анализ показал, что уравнение, описывающее зависимость коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением от кислотности среды, влажности почвы и температуры имеет линейный вид (таблица 1, таблица 2, таблица 3).

Таблица 1: Уравнения линейной зависимости коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением в зависимости от кислотности почвы и параметры дисперсионного анализа

Металлы	Уравнения	Дисперсионный анализ		
		R^2	Нормированный R^2	F
As	$Y = 0.311752 - 2.42074 \cdot X_1$	0,91	0,92	139,46
Pb	$Y = 0.633107 - 4.93565 \cdot X_1$	0,85	0,86	62,81
Zn	$Y = 1.115822 - 8.63704 \cdot X_1$	0,91	0,91	114,07
Co	$Y = 0.638783 - 5.30143 \cdot X_1$	0,75	0,73	30,76
Ni	$Y = 0.483032 - 3.82095 \cdot X_1$	0,88	0,86	74,10
Cu	$Y = 0.71569 - 5.23147 \cdot X_1$	0,88	0,87	75,29
Cr	$Y = 9.374263 - 6.76103 \cdot X_1$	0,81	0,79	44,86
Ba	$Y = 0.934533 - 7.14674 \cdot X_1$	0,86	0,84	62,48
Sr	$Y = 1.28142 - 9.74377 \cdot X_1$	0,85	0,83	58,30

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

V	$Y = 0.470819 - 3.87945 \cdot X_1$	0,92	0,92	129,27
Mn	$Y = 0.372201 - 2.82201 \cdot X_1$	0,93	0,93	149,04

Таблица 2: Уравнения линейной зависимости коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением в зависимости от влажности почвы и параметры дисперсионного анализа

Металлы	Уравнения	Дисперсионный анализ		
		R ²	Нормированный R ²	F
As	$Y = 0.022314 + 0.125441 \cdot X_1$	0,92	0,92	131,51
Pb	$Y = 0.045223 + 0.235631 \cdot X_1$	0,85	0,83	59,29
Zn	$Y = 0.078748 + 0.482233 \cdot X_1$	0,89	0,87	81,07
Co	$Y = 0.048342 - 0.09831 \cdot X_1$	0,84	0,82	52,58
Ni	$Y = 0.03569 + 0.118146 \cdot X_1$	0,93	0,92	144,14
Cu	$Y = 0.050906 + 0.615522 \cdot X_1$	0,86	0,85	65,87
Cr	$Y = 0.685049 + 8.877057 \cdot X_1$	0,84	0,83	56,20
Ba	$Y = 0.069917 + 0.469688 \cdot X_1$	0,93	0,93	151,27
Sr	$Y = 0.095663 + 0.700877 \cdot X_1$	0,92	0,91	123,01
V	$Y = 0.03364 - 0.0338 \cdot X_1$	0,92	0,91	116,88
Mn	$Y = 0.026047 + 0.221064 \cdot X_1$	0,89	0,88	82,77

Таблица 3: Уравнения линейной зависимости коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением в зависимости от температуры и параметры дисперсионного анализа

Металлы	Уравнения	Дисперсионный анализ		
		R ²	Нормированный R ²	F
As	$Y = 0.018316 - 0.24654 \cdot X_1$	0,71	0,62	25,25
Pb	$Y = 0.042494 - 0.66248 \cdot X_1$	0,86	0,85	63,72
Zn	$Y = 0.018316 - 1.13674 \cdot X_1$	0,84	0,84	189,32
Co	$Y = 0.037565 - 0.84744 \cdot X_1$	0,58	0,53	13,83
Ni	$Y = 0.028709 - 0.46109 \cdot X_1$	0,69	0,66	22,49
Cu	$Y = 0.050153 - 0.4577 \cdot X_1$	0,86	0,86	269,07
Cr	$Y = 0.0511853 - 1.18921 \cdot X_1$	0,54	0,49	11,84
Ba	$Y = 0.05477 - 0.62557 \cdot X_1$	0,65	0,62	19,28
Sr	$Y = 0.080972 - 0.95962 \cdot X_1$	0,75	0,73	31,33
V	$Y = 0.028007 - 0.60518 \cdot X_1$	0,73	0,70	27,10
Mn	$Y = 0.022555 - 0.24469 \cdot X_1$	0,76	0,74	32,62

Установлено, что коэффициент биологического поглощения 12 элементов (As, Pb, Cd, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, Ba, Sr, V, Mn) зависит от факторов среды. Так, при расчете коэффициента детерминации между коэффициентом биологического поглощения элементов и кислотностью среды отмечено что

R_2 варьирует в пределах от 75 до 93%, между коэффициентом биологического поглощения элементов и влажностью среды – 84-93%, а между коэффициентом биологического поглощения элементов и температурой среды – 54 до 86%, а оставшиеся 7-14% изменчивости коэффициента детерминации зависят от действия других факторов среды. Замечено, что биодоступность растением одних металлов (As, Zn, V, Mn) зависит больше от кислотности почвы, других (As, Ni, Ba, Sr, V) от влажности почвы, а третьих (Pb, Cu) от температуры. Результаты свидетельствуют о том, что наиболее значимыми факторами, влияющие миграцию тяжелых металлов в системе «почва-корень-надземная часть» являются кислотность и влажность почвы.

Спектр биодоступности тяжёлых металлов растением в зависимости от кислотности и влажности почвы выше, чем спектр биодоступности тяжёлых металлов растением в зависимости от температуры. Вероятно, низкая биодоступность растением остальных элементов (Cd, Co, Cr) связано с действиями других факторов среды. Следует заметить, что нормированный R-квадрат во всех расчетах незначительно различается от коэффициента детерминации, что доказывает хорошее качество модели. Высокие значения критерии Фишера говорят о статистической достоверности результатов исследования. Полученные результаты согласуются с литературными данными [5], что коэффициент биологического поглощения разных элементов растением неодинаков и зависит от изменяющихся во времени условий окружающей среды.

Заключение

Используя регрессионный анализ, оценили зависимость коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов из загрязненной почвы растением от температуры, влажности почвы, кислотности среды, с учетом величины достоверности аппроксимации. Получены математические модели коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением в зависимости от фактора среды. Регрессионный анализ показал, что предикторами, оказывающие наибольшее влияние на миграции тяжелых металлов из загрязненной среды в вегетативные органы растения являются кислотность и влажность почвы.

Литература

- [1] Tsao D.T. Overview of phytotechnologies // *Advances in Biochemical Engineering /Biotechnology Phytoremediation* – 2003. – Springer-Verlag: Berlin – Vol. 78. – P. 50.
- [2] Pilon-Smits E. Phytoremediation // *Plant Biology*. – 2005. – Vol. 56 – P. 15–39.

[3] Pezzarossa B., Gorini F., Petruzzelli G. Heavy Metal and Selenium Distribution and Bioavailability in Contaminated Sites: A Tool for Phytoremediation – Dynamics and Bioavailability of Heavy Metals in the Roots Zone. – 2011. Press Taylor and Francis Group, Florida. – P.93-127.

[4] Nurzhanova A., Kalugin S., Zhambakin K. Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soils in Kazakhstan // Environmental Science and Pollution Research – 2013. – Vol. 20. – P. 2054-2063.

[5] Diwan H., Ahmad A., Iqbal M. Uptake-related parameters as indices of phytoremediation potential // Biology – 2010. – Vol. 65/6. – P. 1004–1011.

[6] Paterson S., Mackay D, McFarlane, C. A model of organic-chemical uptake by plants from soil and the atmosphere // Environmental Science and Technology. –1994. – Vol.28. – P.2259-2266.

[7] Undeman E., Czub, G., McLachlan, M. S. 2009 Addressing temporal variability when modeling bioaccumulation in plants // Environmental Science and Technology. – 2009. –Vol.43. – P. 3751–3756.

[8] Vogeler, I., Green, S. R., Scotter, D. R. & Clothier, B. E. 2001 Measuring and modelling the transport and root uptake of chemicals in the unsaturated zone // Plant Soil. – 2001. –Vol.231. – P. 161-174.

[9] Verma P., George K. V., Singh H. V., Singh. K., Juwarkar A., Singh R.N. Modeling rhizofiltration: heavy-metal uptake by plant roots // Environmental modeling and assessment – 2006. –Vol. 11. – P. 387-394.

[10] Thoma G.J., Lam T.B. Wolf D.C. A Mathematical Model of Phytoremediation for Petroleum-Contaminated Soil: Model Development // International Journal of Phytoremediation. – 2003. – Vol.5. No. 1. – P. 41–55.

[11] Trapp S. Plant Uptake and Transport Models for Neutral and Ionic Chemical // Environmental Science and Pollution Research. – 2004. – Vol. 11. No. 1. – P. 33-39

[12] Sarma H., Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology // Journal of Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 4, N 2. – P. 118-138.

[13] Водопьянов В.В. Математические модели и методы анализа восстановления биосистем, подверженных антропогенным воздействиям (на примере восстановления нефтезагрязненных почв) – автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 2008. Уфа. – 48 с.

[14] Narayanan M., Tracy J.C., Davis L., Erickson L. Modeling the fate of toluene in a chamber with alfalfa plants. 1 Theory and modeling concepts // Journal Hazardous Substance Research. – 1995. – 5a (1). –P.1-30.

[15] Zung K.S., Corapcioglu M.Y., Drew M.C., Munster C.L. Plant contamination by organic pollutants in phytoremediation // Journal of Environmental Quality. –2001. – Vol.120 (1). – P.57-67.

[16] Lugli F., Mahler C.F. Phytoremediation of Metals: A Numerical Analysis // International Journal of Phytoremediation. – 2015. – Vol.17, N 3. –P. 242-248.

[17] Korostina O.A., Kuyukina M.S., Ivshina I.B., Kostina L.V., Osipenko M.A., Nyashin Yu.I. The use of software for solving problems related to the purification of soil from oil and heavy metals through the biosurfactant // Russian Journal of Biomechanics. – 2011, – Vol. 15, N 3 (53). – P. 86-92.

[18] Bini C. From Soil Contamination to Land Restoration – 2010, Nova Science Publisher, New York.

[19] Панин М.С. Влияние техногенных факторов и агрохимической деятельности человека на содержание миграцию тяжелых металлов в системе “почва-растение” // Состояние и рациональное использование почв республики Казахстана. – 1998. – С. 76-79.

[20] Отчет проекта 0451/ГФ4 «Разработка технологии улучшения загрязненных тяжелыми металлами и пестицидами земель с использованием растения мискантуса гигантского (*miscanthus x giganteus*) – нового высокоэффективного фиторемедианта». 2016. – 85 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ГРАФОВ ПРИ ПОЛНОТЕКСТОВОМ ПОИСКЕ

Нурболат Ж., Козбакова А.Х.

Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан
e-mail: jokab_kz@mail.ru, ainur79@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача полнотекстового поиска, в которой поисковым запросом является текст, состоящий из нескольких предложений. Такая задача актуальна для сервисов, посвященных ответам на вопросы (порталы технической поддержки, форумы и т.п.). Для решения данной задачи предлагается алгоритм, позволяющий свести поиск по тексту к поиску по словосочетаниям. Приводятся результаты экспериментов, подтверждающие эффективность данного алгоритма.

Ключевые слова: полнотекстовый поиск, информационный поиск, обработка словосочетаний, концептуальные графы.

Введение. Электронные ресурсы, связанные с ответами на вопросы (например, системы служб техподдержки или форумы) по мере своего развития накапливают все больше информации, поиск по которой способен, с одной стороны, помочь пользователям таких систем получить ответ немедленно, не ожидая ответа специалистов, а с другой – снизить количество дублирующихся вопросов и нагрузку людей, отвечающих на вопросы.

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

Однако практика показывает, что большинство пользователей предпочитает сразу прибегать к помощи других людей, не пытаясь найти ответ среди имеющейся информации. А, значит, уменьшение количества дубликатов и снижение нагрузки специалистов может достигаться путем автоматического поиска по тексту вопроса до того, как этот вопрос (состоящий в общем случае из 1-10 предложений произвольного стиля на естественном языке) попадет в базу данных.

Постановка задачи. Структура рассматриваемого информационного ресурса достаточно типична для любой подобной компании: имеется база данных опубликованной в Интернете справочной документации (Help, FAQ и т.п.) по продуктам, а также база данных техподдержки, в которую собираются вопросы пользователей, поступающие с форумов и по электронной почте. В той же базе данных хранятся ответы на эти вопросы.

Входными данными для поиска являются вопросы пользователей, выходными – список документов, которые могут содержать нужную пользователю информацию. Отметим также, что сообщения состоят из темы (короткого описания) и полного текста с подробным (несколько предложений) описанием проблемы на русском или английском языке.

Реализованная на данный момент система позволяет производить автоматический поиск по ключевым словам из темы сообщения, но собранная статистика показывает, что такой подход недостаточно эффективен. Только 1 % пользователей находят нужную информацию среди автоматически подобранных результатов. Еще 4,5 % после просмотра предложенных результатов изменяют свой вопрос. Подавляющее большинство все же отправляет свои вопросы в техподдержку без изменений. Объясняются такие результаты достаточно просто: лишь очень немногие пользователи могут достаточно кратко и в нужных терминах сформулировать суть проблемы, с которой они столкнулись. Большинство просто указывает абстрактные темы, а, значит, для повышения эффективности поиска необходимо учитывать также и подробное описание вопроса.

Поставленная задача поиска имеет ряд важных отличий от классического поиска в Интернете. Во-первых, поскольку вопрос может оказаться достаточно длинным (например, состоять из 10 предложений) и содержать не влияющие на смысл слова и предложения (например, приветствия, подписи и т.п.), необходимо извлечь из него словосочетания, выражающие саму суть вопроса. Во-вторых, все индексируемые страницы принадлежат одной и той же компании, заинтересованной в адекватности результатов поиска. А значит, нет смысла учитывать при поиске ссылки между документами для определения авторитетности той или иной страницы и производить прочие действия, направленные на борьбу с нечестным продвижением сайтов. Также количество индексируемых документов составляет десятки тысяч, т.е. относительно невелико по сравнению с количеством страниц в Интернете, и документы посвящены одной тематике или ряду близких тематик.

Алгоритмическое обеспечение поисковой системы. Алгоритм, предлагаемый для решения поставленной задачи, можно разбить на следующие этапы.

1. Обработка запроса (разбиение на слова, выделение словосочетаний).
2. Поиск (вычисление релевантности по словосочетаниям).
3. Обучение (корректировка веса найденных элементов). Последняя операция не является обязательной, но позволяет улучшить качество поиска, о чем будет рассказано ниже. Приведем подробное описание алгоритма, решающего каждую из подзадач.

Обработка запросов. На этапе обработки запросов производится разбор текста на слова и предложения, фильтрация шумовых слов, раскрытие форм слов и выявление словосочетаний. Последнее рассмотрим подробнее.

Выявление словосочетаний производится путем обработки знаков препинания в индексируемых документах, а также путем построения *концептуальных графов* [1], соответствующих предложениям запросов. Концептуальный граф как семантическая модель текста предложения позволяет найти в нем словосочетания в виде пар концептов, связанных определенными отношениями, например, отношением «*атрибут*». В данной технологии применяется программное обеспечение для автоматического построения концептуальных графов для текстов [2].

Сначала рассмотрим обработку знаков препинания.

Поскольку знаки препинания служат для разделения текста на структурные единицы, логично обрабатывать их на этапе индексирования документа. В предлагаемом алгоритме знаки препинания, разделяющие слова, учитываются при вычислении позиции слова относительно начала текста. Отметим, что в индексах используется векторная модель текстов – каждому слову ставится в соответствие его вес, вычисленный по известной формуле *tf* (*term frequency*). Также для каждого слова хранятся порядковые номера, характеризующие расстояние относительно начала текста. Наличие знаков препинания приводит к искусственному увеличению (или уменьшению) расстояния между словами, давая базовое представление о том, какие слова могут быть связаны, а какие, напротив, не должны иметь семантических связей друг с другом. Благодаря этому информация о знаках препинания неявно сохраняется в индексах, хранящих только вес слов и их позицию.

Рассмотрим примеры.

...**issue-tracking** tools... => [N, N+0.5].

Здесь слова *issue* и *tracking* разделены дефисом, а, значит, вероятно, связаны между собой. Поэтому расстояние между ними берется равным 0,5.

...the **issue**, but **tracking** changes... => [N, N+3].

Здесь слова *issue* и *tracking* разделены запятой (дающей увеличение позиции на 2) и шумовым словом *but* (увеличивающим ее на 1). Итоговое расстояние между словами показывает, что в данном случае слова слабее связаны между собой.

...**Object.Method()**... => [N, N+0.5].

Здесь слова разделены точкой без пробела, что является типичным для программного кода, часто встречающегося в технической документации. В этом случае слова *object* и *method* скорее всего связаны между собой, поэтому расстояние берется равным 0,5.

...some **object. Method** A shows... => [N, N+15].

В данном случае слова *object* и *method* находятся в разных предложениях, а значит вряд ли связаны семантически. Поэтому позиция слова *method* искусственно увеличивается на 15.

Приведенные в примерах значения констант, характеризующих увеличение позиции, подобраны экспериментально и использовались при индексировании тестового множества, о котором пойдет речь позднее.

Итак, знаки препинания и расположение слов и позволяют судить о том, какие слова в индексируемых документах могут быть связаны (а, значит, присутствует ли в документе искомое словосочетание), но этого, очевидно, недостаточно для выявления из запроса словосочетаний, по которым следует проводить поиск.

Применение концептуальных графов. Для более детального анализа предлагается использовать концептуальные графы, учитывающие информацию о формах слов, частях речи и т.п. Здесь используется одно важное наблюдение: – для описания технической сути проблемы пользователи стараются использовать грамматически корректные сочетания слов и термины, которые они видят в используемых продуктах, например, в текстах ошибок, в интерфейсе и т.п. Незначительные предложения (например, приветствия, подписи, и т.п.) часто не являются грамматически корректными, и их можно отфильтровать простым способом, построив для них концептуальные графы. Такие графы окажутся некорректными, т. е. в них окажутся концепты, не связанные никакими отношениями. Обнаружение таких концептов выполняется также при помощи системы построения концептуальных графов [2].

Рассмотрим пример запроса в техподдержку компании SmartBear:

Hi there! i have a **script test** with a **bunch of checkpoints**, but when it hits a checkpoint cannot be verified, the **execution of the script stops** and **any tests** after the **failed checkpoint** do not get executed.

Thank's in advance.

Жирным выделены словосочетания, имеющие технический смысл и выявленные в результате разбора. Отметим, что предложения *Hi there* и *Thank's in advance* были отфильтрованы на этапе построения концептуального графа, поскольку между словами не обнаружилась семантическая связь. Фрагмент концептуального графа, построенного автоматически из приведенного выше запроса, приведен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, построенный граф позволил выявить взаимосвязь между *I have*, *test script* и *bunch of checkpoints*, хотя в исходном тексте эти словосочетания разделены артиклями и предлогами. Подсчет встречающихся рядом слов, как, например, при латентно-семантическом анализе или в алгоритме, не позволил бы выявить эту связь.

Для построения концептуального графа использовались два внешних ресурса: словарь, хранящий информацию о частях речи, формах слов и т.п. и набор шаблонов, описывающих различные семантические роли, т.е. отношения между словами. Таким образом, результатом разбора запроса является ряд словосочетаний, состоящих из семантически связанных (а не просто идущих подряд) слов. Если какое-то словосочетание повторяется в тексте несколько раз, ему присваивается больший вес. Далее эти словосочетания объединяются оператором OR (поскольку текст может содержать несколько не связанных друг с другом вопросов) и подаются на вход поисковой системы. В результате задача поиска по тексту сводится к поиску по набору словосочетаний, а эта задача решается, в свою очередь, с помощью предлагаемого алгоритма.

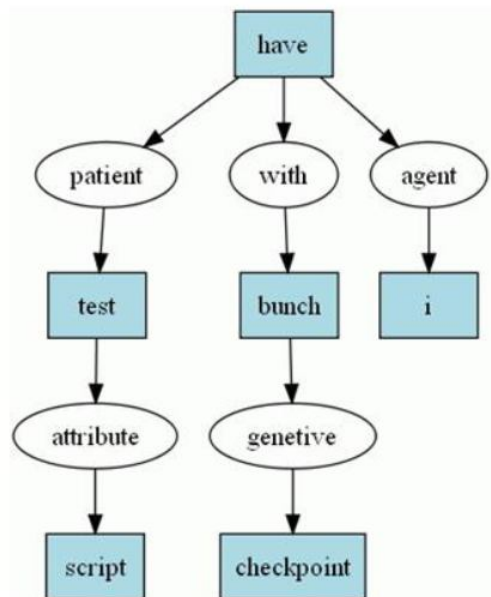


Рис. 1 Фрагмент концептуального графа

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

Заключение. Для решения поставленной задачи поиска по длинному запросу, состоящему из нескольких предложений, предлагается алгоритм, выделяющий из текста запроса связанные словосочетания путем построения концептуальных графов. Таким образом, задача поиска по тексту сводится к задаче поиска по словосочетаниям. Для поиска по словосочетаниям предлагается алгоритм, учитывающий большее количество факторов, чем существующие аналогичные алгоритмы. Экспериментальные результаты доказывают эффективность предлагаемого алгоритма поиска по словосочетаниям.

В дальнейшем планируется улучшить качество поиска за счет применения обучения без учителя. Такое обучение на основе статистических данных о поведении пользователей поможет улучшить релевантность выдаваемых результатов. Также планируется ввести обучение распознаванию словосочетаний, которое поможет улучшить качество построения концептуальных графов, и расширит число поддерживаемых языков.

Литература

1. A World of Conceptual Graphs. URL: <http://conceptualgraphs.org/> (дата обращения: 10.09.2012).
2. Новый подход к ранжированию, который поддерживает улучшенный поиск в литературе цифровых библиотек // Журнал исследований информационных технологии. 2011. -44-52 ст.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ РОЯ ЧАСТИЦ И ИММУНОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Самигулина Г.А., Масимканова Ж.А.

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан*

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан
galinasamigulina@mail.ru, masimkanovazh@gmail.com*

Аннотация. С бурным развитием цифровых технологий актуально применение подходов искусственного интеллекта для прогнозирования технического состояния промышленного оборудования в нефтегазовой отрасли. Доклад посвящен разработке Smart-технологии прогнозирования технического

состояния оборудования на основе модифицированных алгоритмов роя частиц (алгоритмы IWPSO и CoPSO) и иммунносетевое моделирование. Исследования проводились на базе реальных производственных данных нефтегазовой компании ТенгизШевройл.

Нефтегазовая отрасль является важнейшей сферой экономического развития Казахстана, поэтому эффективное и целенаправленное внедрение Smart-технологий в данную область является актуальной задачей. Особенно важно применение последних достижений искусственного интеллекта (ИИ) для управления объектами нефтедобычи, оптимизации производства, размещения скважин, прогнозирования разведки, а также транспортировки нефти и газа. Наибольшее распространение получили интеллектуальные технологии с использованием нейронных сетей, эволюционных алгоритмов, искусственных иммунных систем, алгоритмов роевого интеллекта и др. Применение алгоритмов ИИ при реализации Smart-технологий в нефтегазовой промышленности позволяет сократить количество проводимых тестов для определения характеристик месторождений и уменьшить себестоимость производства нефти.

В настоящее время особый интерес вызывают гибридные системы на основе модифицированных алгоритмов роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) для анализа и обработки многомерных данных и решения задачи прогнозирования. В исследовании [1] предлагается совместное использование алгоритма PSO и метода опорных векторов с использованием подхода наименьших квадратов (LS-SVM) для прогнозирования добычи нефти и газа. Результаты моделирования показывают, что предложенный алгоритм имеет хорошую скорость обучения и сходимости, а также высокую точность прогнозирования. Статья [2] посвящена применению алгоритма PSO и метода опорных векторов (SVR) для формирования оптимального набора параметров с использованием реальных промышленных наборов данных полученных при добыче нефти с четырех различных нефтяных скважин. В результате моделирования с моделями на основе метода случайного поиска (RAND-SVR) и метода проб и ошибок (TE-SVR) доказывалась эффективность PSO-SVR модели при построении оптимального набора параметров. В работе [3] используются искусственные нейронные сети (ANN) и алгоритм PSO для прогнозирования образования конденсата при добыче нефти в зависимости от выделяемого газа (Condensate-to-gasratio, CGR).

Основным недостатком классического PSO алгоритма является преждевременная сходимость, поэтому за последние годы активно разрабатываются различные модифицированные алгоритмы роя частиц, такие как Modified PSO (MPSO), Local PSO (LPSO), Global PSO (GPSO), Inertia weight PSO (IWPSO), Fully informed PSO (FIPSO), Comprehensive learning PSO (CLPSO) и др. В работе [4] предлагается CCPSO-ISM (Competitive and cooperative particle swarm optimization with information sharing mechanism) алгоритм для предотвращения преждевременной конвергенции при решении задачи глобальной оптимизации. По сравнению с алгоритмами LPSO, FIPSO и CLPSO, алгоритм CCPSO-ISM обладает отличной

способностью глобального поиска, так как при подходе ISM (information sharing mechanism) используется информация всего роя для изучения пространства поиска. Статья [5] посвящена решению проблемы локального минимума и предотвращению преждевременной сходимости на основе MPSO алгоритма. По сравнению с классическим PSO алгоритмом, модифицированный алгоритм позволяет значительно улучшить скорость сходимости и точность прогнозирования. В исследовании [6] рассматривается модифицированный алгоритм роя частиц с весом инерции (IWPSO) в котором с увеличением количества итераций уменьшается вес инерции. По сравнению с классическим алгоритмом роя частиц данный алгоритм улучшает поиск оптимальных значений путем решения задачи преждевременной сходимости. В статье [7] анализируется влияние веса инерции на эффективность работы алгоритма IWPSO. В результате исследования отмечается, что использование алгоритма роя частиц с предложенным весом инерции позволяет быстро обрабатывать большой объём данных и обеспечивает лучшее решение.

Литературный обзор подтверждает актуальность применения подходов искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли, в частности, решения задачи диагностики и прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на основе модифицированных алгоритмов роя частиц и иммунносетевого моделирования.

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо решить задачу прогнозирования технического состояния промышленного оборудования на основе модифицированных алгоритмов роя частиц (алгоритмы IWPSO и CoPSO) и иммунносетевого моделирования.

Исследования приводятся на базе реальных производственных данных нефтегазовой компании ТенгизШевройл. В качестве примера реализации Smart-технологии диагностики промышленного оборудования рассматривается Установка 300 [8], предназначенная для очистки нефтяных газов от кислых компонентов. Установка 300 состоит из следующих ключевых блоков: блок очистки газа высокого давления, блока очистки газа среднего давления, блока регенерации диэталомина, блока фильтрации амина, блока подачи химических реагентов, дренажной системы и факельного хозяйства. На рисунке 1 представлена структурная схема интеллектуальной системы прогнозирования технического состояния оборудования.

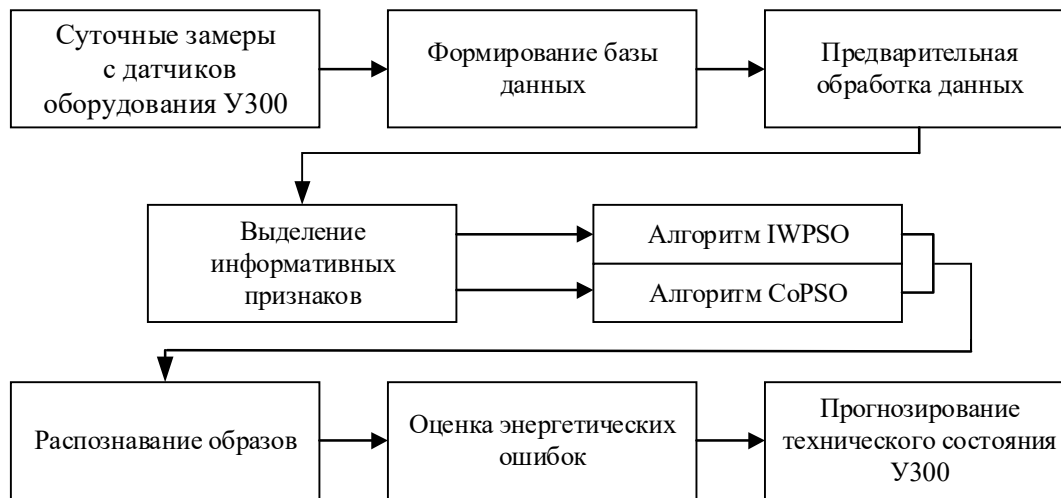


Рис. 1 Структурная схема интеллектуальной системы прогнозирования

Для решения поставленной задачи разработан следующий алгоритм:

Шаг 1. Формирование базы данных (БД) производственной информации (суточных замеров с датчиков промышленного оборудования У300).

Шаг 2. Предварительная обработка данных и построение оптимального набора на основе модифицированных алгоритмов роя частиц [9]. Выделение информативных дескрипторов осуществляется в соответствии с концепцией мультиалгоритмического подхода с использованием IWPSO и CoPSO алгоритмов.

Шаг 3. Решение задачи распознавания образов, оценка энергетических ошибок и прогноз состояния оборудования на основе иммуносетевого моделирования [10].

Шаг 4. Диагностика технического состояния промышленного оборудования и принятие решения.

Таким образом, разработанная Smart-технология на основе модифицированных алгоритмов роя частиц позволяет осуществлять предварительную обработку данных и формировать оптимальный набор дескрипторов для дальнейшего иммуносетевого моделирования объектов нефтегазовой отрасли.

Работа выполнена по гранту КН МОН РК по теме: "Разработка когнитивной Smart-технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта" (2018-2020 гг.).

Литература

1. Qiao Y., Peng J., Ge L., Wang H. Application of PSO LS-SVM forecasting model in oil and gas production forecast // Cognitive Informatics & Cognitive Computing. – IEEE, 2017. – DOI: 10.1109/ICCI-CC.2017.8109791 (дата обращения: 30.05.2018).
2. Akande K.O., Owolabi T.O., Olatunji S.O., Abdul Raheem A. A hybrid particle swarm optimization and support vector regression model for modelling permeability

prediction of hydrocarbon reservoir // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2017. – Vol. 150. – С. 43-53.

3. Zendeboudi S., Ahmadi M.A., James L., Chatzis I. Prediction of Condensate-to-Gas Ratio for Retrograde Gas Condensate Reservoirs Using Artificial Neural Network with Particle Swarm Optimization // Energy Fuels. – 2012. – Vol. 26 (6). – P. 3432–3447.

4. Li Y.; Zhan Z.; Lin S.; Zhang J.; Luo X. (2015): Competitive and cooperative particle swarm optimization with information sharing mechanism for global optimization problems // Information Sciences. – 2015. – Vol. 293. – P. 370-382.

5. L. Zhang; Q. Fu; J. Chen; H. Bai; X. Zhou. A modified particle swarm optimization algorithm — CPSODE // 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC) DOI: 10.1109/CCDC.2017.7978374 (дата обращения: 30.05.2018).

6. Bin J., Zhigang L., Xingsheng G. A dynamic inertia weight particle swarm optimization algorithm // Chaos, Solitons and Fractals. – 2008. – Vol. 37. – P. 698-705.

7. Umaphy P., Venkateshaiah C., Arumugam M.S. Particle Swarm Optimization with Various Inertia Weight Variants for Optimal Power Flow Solution // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2010. – URL:<http://dx.doi.org/10.1155/2010/462145> (дата обращения: 30.05.2018).

8. Технологический регламент на технологический процесс очистки углеводородных газов на установке 300 // ТОО «ТенгизШевройл». – 2016. – 146 с.

9. Samigulina G.A., Massimkanova Zh.A. Multi-agent system for forecasting based on modified algorithms of swarm intelligence and immune network modeling // Proceedings of the 12th International Conference Agents and Multi-agent Systems: Technologies and Applications (KES-AMSTA-18). – 2018. – P. 199-208.

10. Samigulina G.A. Immune network modeling technology for complex objects intellectual control and forecasting system: monograph. Science Book Publishing House. -2015.

ИНТЕРАКТИВНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Сонькин М.А., Яворский В.В., Чванова А.О., Байдикова Н.В.

*Карагандинский государственный индустриальный университет,
Казахстан*

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности формирования информационного обеспечения на основе разнородных данных для интерактивной геоинформационной

системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Представлен пример анализа снимков дистанционного зондирования.

Развитие производственной и социальной сфер деятельности человечества сопровождается усложнением промышленных технологий и расширением их влияния на окружающую среду. Наблюдается тенденция роста числа и масштабов техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Вне зависимости от вида ЧС для успешной ее ликвидации и сокращения негативных последствий первостепенную роль играет своевременный сбор данных в зоне возникновения.

Проблема построения автоматизированных систем поддержки предупреждения и ликвидации ЧС актуальна не только в силу объективной необходимости решения прикладных задач, но и в силу того, что в настоящее время необходимо создание методов их решения, использующих новые методические и технологические концепции.

Методологические требования вытекают из особенностей постановки задач поддержки принятия решений в условиях экстраординарных ситуаций. Управление в условиях ЧС отличается от штатных условий гибкостью, необходимостью работы с недостоверной и неполной информацией, высоким темпом изменения ситуации, необходимостью формирования в кратчайшие сроки как можно более эффективных решений, высокой результативностью, требованиями минимизации времени и минимума потерь при ликвидации ЧС. Эти особенности требуют развития новой методологии поддержки управленческих решений, основанной на использовании сценарного подхода и методологии ситуационного управления в сочетании с новыми методами информационного моделирования [1].

Очевидно, что базой исходной информации должна являться информационная система, которая позволит хранить все виды исходных данных для составления прогноза. Все данные, поступающие в такую систему – космические снимки, результаты аэрофотосъемки, видеонаблюдения, показатели датчиков – могут быть использованы для составления прогнозов различной продолжительности.

1. Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Для получения «долгосрочной» информации следует использовать системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Дистанционное зондирование можно представить, как процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним [2]. Суть ДЗЗ состоит в том, чтобы заменить измерения объектов на местности измерениями на расстоянии. В случае возникновения ЧС такие данные можно использовать для прогнозирования возможного распространения ЧС и ее масштабов.

Более детальную информацию о состоянии зоны ЧС дает возможность получить аэрофотосъемка.

Описанные выше технологии получения данных позволяют получать информацию о территории зоны ЧС. При этом, такая информация едва ли может

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

быть использована для оперативного управления, поскольку предполагает некоторое время для ее обработки (обработки снимков графическими методами).

В случае, если необходимо обеспечить наблюдение за потенциально опасной зоной или зоной, где уже происходит ЧС, то следует использовать системы видеонаблюдения и оповещения.

Система видеонаблюдения позволяет организовать постоянный мониторинг в режиме реального времени с целью обеспечения оперативного принятия решений. Желательно, чтобы система видеонаблюдения была оснащена средствами записи и хранения информации в случае, если в конкретный период информация не может быть передана в ситуационный центр. Конечно, это касается тех случаев, когда ЧС не происходит.

В случае, если ЧС уже происходит в реальном времени и необходимо ее ликвидировать в максимально короткие сроки, система видеонаблюдения должна быть постоянно включена и имеет возможность передачи данных по разным каналам, чтобы обеспечить оперативность. Опять же, как и предыдущие способы, система видеонаблюдения позволяет передавать изображение зоны ЧС. Однако, для успешной ликвидации ЧС необходимо получать данные о таких параметрах территории, как давление, температура и т.д.

Для этого нужны датчики и система оповещения, которая будет считывать и передавать их показания в центр для анализа и принятия решений. Датчики и контроллеры также должны иметь возможность передачи данных по различным каналам связи, чтобы иметь альтернативу в случае отказа одного из них. Контроллеры должны быть оснащены записывающими устройствами для обеспечения возможности накопления данных в случае невозможности их передачи. Следует установить периодичность отправки показаний датчиков, которая, в случае ЧС, должна быть максимально сокращена. Использование всех предложенных технологий и их интеграция на базе цифровой карты местности с привязкой по координатам позволит обеспечить полное информирование служб предупреждения и ликвидации ЧС для обеспечения быстрого принятия решений.

2. Общая принципиальная схема распределения потоков данных предлагаемой телекоммуникационной системы представлена на рис. 1.

Согласно рис. 1, описанные выше уровни мониторинга распределяются между службами, занятыми в обеспечении безопасности жизнедеятельности.

На верхнем уровне, уровне ДЗЗ, функционируют общереспубликанские службы, которые получают данные ДЗЗ от Национального космического агентства РК. При этом ведется база данных снимков, чтобы можно было выполнить анализ изменений за некоторый период времени.

Уровень аэрофотосъемки связан с территориальными подразделениями и позволяет выполнять мониторинг и анализ уже конкретной части территории. Данные аэрофотосъемки должны поступать в областные департаменты по ЧС.

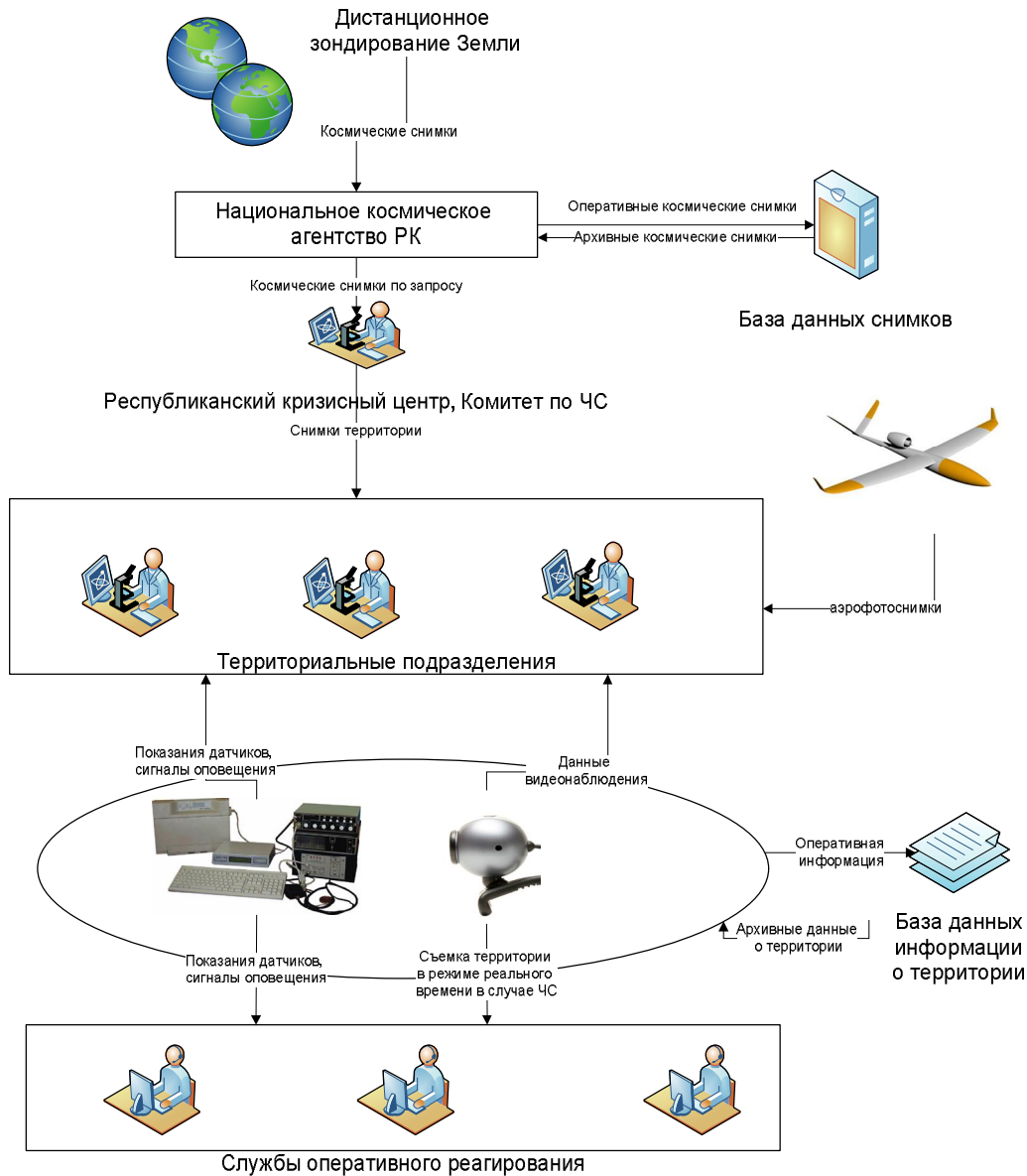


Рис. 1. Схема информационных потоков телекоммуникационной системы предупреждения и ликвидации ЧС

Уровень систем видеонаблюдения и оповещения должен быть также связан с территориальными подразделениями. В каждом подразделении должна вестись локальная база данных информации о территории, включая и аэрофотоснимки. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность получения данных с места ЧС,

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

в случае ее возникновения, службами оперативного реагирования с целью обеспечения оперативности принятия решений и минимизации последствий.

В связи с таким распределением информации, можно выделить два уровня в архитектуре телекоммуникационной системы: республиканский и местный. При этом на Республиканском уровне телекоммуникационная система должна обеспечивать [2]:

- общий мониторинг состояния территории Республики Казахстан на основе космических снимков;

- моделирование процессов и ситуационный анализ, визуализацию управленческих ситуаций для раскрытия причинно–следственных связей анализируемых событий;

- сбор данных от областных департаментов по ЧС не реже одного раза в сутки;

- организацию информационного взаимодействия служб и подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан для снижения объема бумажного документооборота, повышения уровня информированности сотрудников и оперативности при подготовке выходных фор.

На местном (городском, областном) уровнях телекоммуникационная система проведения оперативных мероприятий должна реализовывать следующие функции [3]:

- мониторинг и анализ территории конкретной области или города с целью предупреждения ЧС;

- оповещение населения в случае угрозы ЧС;

- упрощение формирования отчетов о ЧС.

3. Интерактивная геоинформационная система.

Интеграцию предложенных данных предлагается осуществлять на базе интерактивной геоинформационной системы, в основе которой должна лежать цифровая модель местности. Привязка всех получаемых должна осуществляться по координатам на карте. При этом, телекоммуникационная система должна обладать распределенной архитектурой, поскольку необходимо осуществлять мониторинг потенциально опасных зон с привязкой к конкретной местности, что можно сделать на базе территориальных ситуационных центров (СЦ). Следует обеспечить централизованное управление всеми территориальными СЦ, которые организуются на базе департаментов по ЧС, и передачу данных в центральный СЦ на базе Республиканского кризисного центра.

Рассмотрим более подробно применение дистанционного зондирования Земли для составления прогнозов на примере Карагандинской области. Карагандинская область богата полезными ископаемыми. Крупные промышленные предприятия ведут их добычу, что сказывается на состоянии окружающей среды. Подземная добыча угля в Карагандинском бассейне влечет за собой просадку территорий над отработанными пластами, что негативно отражается на существующих и

строящихся объектах промышленной и городской инфраструктуры. При этом многие шахтные стволы, в которых с начала прошлого столетия проводилась интенсивная добыча запасов угля и разведочные выработки, сейчас засыпаны. На поверхности их можно обнаружить только по данным топографической съемки, однако они представляют опасность для строящихся объектов из-за возможных просадок почв и грунтов.

Традиционные наземные инструментальные геодезические измерения на реперах, а также сети GPS и ГЛОНАСС позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту деформаций земной поверхности на всю исследуемую площадь по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию.

В последнее время, в связи с появлением космических систем радиолокационного зондирования высокого (до 1 м.) разрешения, большое развитие получили методы и технологии космической радиолокационной интерферометрии (КРИ), при которой фиксируются амплитуда и фаза отраженного от поверхности радиосигнала, позволяющие с миллиметровой точностью определять смещения земной поверхности.

4. Применение методов космической радиолокационной интерферометрии

Следует отметить, что в Казахстане уже имеется опыт применения методов космической радиолокационной интерферометрии для мониторинга подвижек земной поверхности. Такие работы в 2012 году были проведены российской компанией Совзонд на производственных территориях месторождений Тегиз, где по данным космических аппаратов радиолокационного зондирования Envisat, Alos, были получены результаты смещений земной поверхности, составившие до 7.5 см. В 2012 году Институт космических исследований (ИКИ) проводил работы по применению методов радиолокационной интерферометрии для мониторинга смещений земной поверхности на производственных площадях ТОО Корпорация «Казахмыс».

В рамках данной научно-исследовательской работы совместно с Карагандинским государственным техническим университетом с помощью пакета ENVI был проведен анализ снимков Карагандинской области со спутника ENVISAT от 2010/07/31 и 2010/10/09 и получены интерферограммы Карагандинской области, показанные на рис. 2-4. Результаты анализа показывают, что оседания территории в районе Темиртау составляют до 5 см.

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

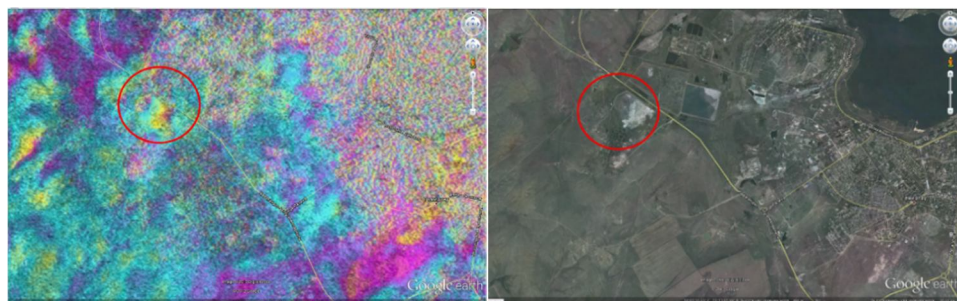


Рис. 2. Зона просадки с Юго-Западной стороны г.Темиртау

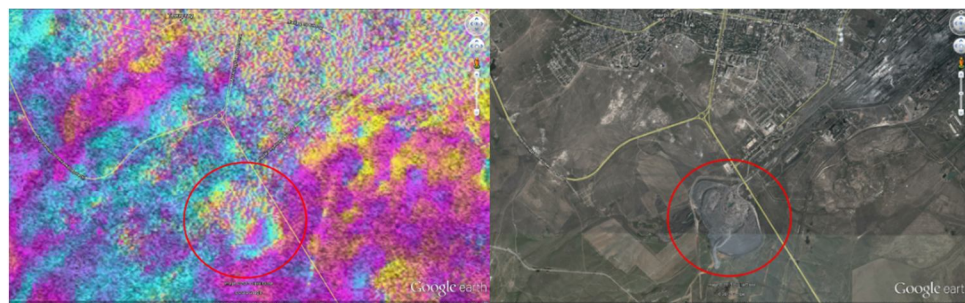


Рис. 3. Зона просадки на въезде в г. Темиртау со стороны г. Караганды

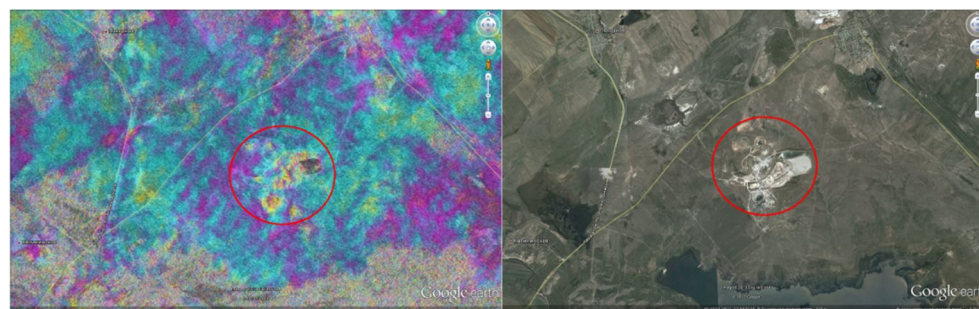


Рис. 4. Зона просадки на въезде в г. Темиртау со стороны г. Караганды

Как показывает пример, применение дистанционного зондирования в качестве одной из составляющих интерактивной геоинформационной системы предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций позволяет спрогнозировать и, следовательно, предупредить возникновение чрезвычайных ситуаций. С другой стороны, обязательно дополнять этот способ более подробной информацией, получаемой другими способами, и интегрировать ее в интерактивную геоинформационную систему с географической привязкой для получения максимально полной картины.

Литература

1. Сонькин М.А., Ямпольский В.З., Яворский В.В., Сергеева А.О. Телекоммуникационная система ситуационного центра по ликвидации чрезвычайных ситуаций. / А.М. Сонькин, В.З. Ямпольский, В.В. Яворский, А.О. Сергеева // Труды VII Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии», посвященной 50-летию Карагандинского государственного индустриального университета, 11-12 октября 2013г. Том 1. – Алматы, РИК по учебной и методической литературе, 2013. – с.16-18.
2. Wang Yunjia, Wang Jian, Huang Yi, Tian Feng, Chen Guoliang. Technologies and applications for multi-source monitoring of surface disasters in mining area. / Y. Wang, J. Wang, Y. Huang, F. Tian, G. Chen // International Society for Mine Surveying XV International ISM Congress 2013, Deutscher Markscheider-Verein e.V. – DMV, 16–20 September · Aachen · Germany pp. 1034-1048.
3. Официальный интернет-ресурс Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД РК - <http://emer.gov.kz/> (10.08.2018).
4. Yavorskiy V., Moser D., Fofanov O. Space monitoring of man-made hazards in central Kazakhstan. / V. Yavorskiy, D. Mozer, O. Fofanov // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, October 16-18, 2014. - Tomsk: TPU Publishing House, 2014 - p. 1-5.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике. / Л.В. Массель, А.Г. Массель // IV Международная конференция OSTIS: труды. - Беларусь. Минск. БГУИР. 2014. - с. 111-116.
6. Массель Л.В., Массель А.Г., Иванов Р.А. Когнитивная графика и семантическое моделирование для геопространственных решений в энергетике / Л.В. Массель, А.Г. Массель, Р.А. Иванов. // 21-я Международная конференция Интеркарто/ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение»: труды. Краснодар-Фиджи. 2015. - Краснодар. КГУ. - с. 496-502.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ СЕТИ 5G ДЛЯ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ВЫСОКОГО УРОВНЯ

^{1,2}Тихвинский В.О., ¹Терентьев С.В., ³Айтмагамбетов А.З.

¹АО Национальный исследовательский институт технологий и связи,
Российская Федерация,

²Московский технический университет связи и информатики

³АО «Международный университет информационных технологий»
e-mail: vtiir@mail.ru, s.ter@mail.ru, altayzfa@mail.ru

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

***Аннотация.** Авторами проанализированы особенности построения различных бизнес-моделей виртуальных операторов (MVNO) с использованием технологических и архитектурных возможностей сетей 5G: высокого уровня, низкого уровня, торговый посредник.*

В ходе исследований разработаны структурные схемы на основе сетевых функций 5G для операторов виртуальных мобильных сетей высокого уровня, основанные на технологиях совместного использования сетевых ресурсов 5G MOCN (5G Multi-Operator Core Network) и 5G GWCN (5G Gateway Core Network). В целях реализации бесшовного радиопокрытия мультистандарной сети радиодоступа рассмотрены вопросы интеграции сети MVNO с базовыми станциями сетей 4G/5G.

В статье систематизированы вопросы совместного использования нумерации и адресации оператором мобильной сети (MNO) и виртуальным оператором высокого уровня (Hight-MVNO). Рассмотрены принципы поиска и выбора абонентским устройством сети виртуального оператора высокого уровня, принцип выбора сетевых функций (NF Select) в зависимости от сетевых слоев.

В заключении в статье рассмотрены пути решения вопроса взаимного учета трафика и абонентов оператором мобильной сети и оператором виртуальной сети высокого уровня (Hight-MVNO).

Результаты статьи актуальны для операторов мобильной связи 5G, операторов MVNO и системных интеграторов.

Введение

Появление нового стандарта сети мобильной связи 5-го поколения ставит перед виртуальными операторами задачи оценки возможности создания сетей MVNO различного уровня на основе элементов архитектуры и протоколов сетей 5G.

Применение в сетях 5G новых технологий, сервисно-ориентированной сетевой архитектуры и снижение инфраструктурной зависимости за счет виртуализации сетевых функций и сетевых возможностей, формирование сетевых слоев (слайсинг) под каждый тип услуг, сетевое оркестрирование создают для операторов MVNO новые дополнительные возможности, которые были недоступны в виртуальных мобильных сетях предыдущих поколений.

Исследование и проектирование новых вариантов архитектуры сетей MVNO различного уровня на основе элементов архитектуры и протоколов сетей 5G откроет для операторов MVNO новые возможности бизнеса и обеспечит высокую гибкость внедрения новых услуг на рынке мобильной связи.

Краткая характеристика типовых бизнес-моделей MVNO

Современные виртуальные операторы характеризуются несколькими бизнес-моделями [1]: виртуальный оператор высокого уровня (Full MVNO), виртуальный оператор низкого уровня (Light MVNO), торговый посредник (Reseller). Основное отличие заключается в наличии собственной опорной сети, подсистем эксплуатации

и биллинга, платформ предоставления дополнительных услуг (VAS), сети продвижения услуг (рис. 1).

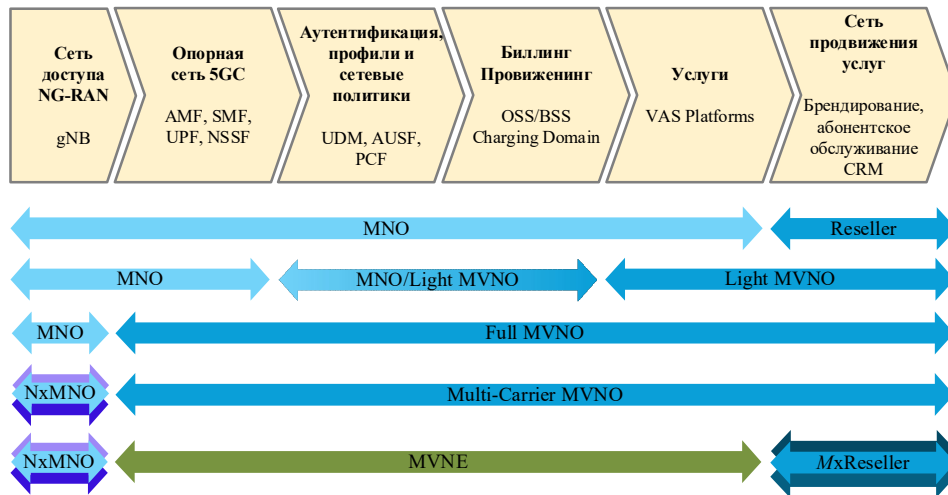


Рис.1. Классификация бизнес-моделей виртуального оператора

Наименее сложной и затратной бизнес-моделью является модель торгового посредника, который не имеет своей собственной инфраструктуры и осуществляет только брендинг, абонентское обслуживание и продвижение своих услуг на рынке.

Наиболее сложной и затратной бизнес-моделью является модель виртуального оператора высокого уровня, который имеет свою собственную инфраструктуру в полном объеме за исключением сети радиодоступа NG-RAN.

Виртуальный оператор высокого уровня (Multi-Carrier MVNO) может иметь присоединение одновременно к нескольким сетям радиодоступа различных операторов MNO. Промежуточной компромиссной бизнес-моделью является модель виртуального оператора низкого уровня, который в отличие от торгового посредника, дополнительно имеет собственные платформы предоставления дополнительных услуг (VAS). Кроме того, виртуальный оператор низкого уровня может иметь собственные виртуальные сетевые функции (NF) 5G, такие как функция унифицированной базы данных UDM, функция аутентификации (AUSF), функция управления политиками (PCF). На телекоммуникационном рынке известны также бизнес-модели виртуальных операторов сетевой инфраструктуры MVNE, специализированной на создании и вывод на рынок торговых посредников Resellers. Инфраструктура (платформа) виртуального оператора MVNE по сути является прослойкой между оператором мобильной сети MNO и торговыми посредниками Resellers.

Варианты построения архитектуры МОСН сети виртуального оператора

Примером построения архитектуры сети 5G виртуального оператора высокого уровня, который имеет собственную опорную сеть, может быть архитектура, основанная на технологии совместного использования сетевых ресурсов. В соответствии с технической спецификацией 3GPP [1] для сети 5G определена только одна технология совместного использования сетевых ресурсов – технология совместного использования сети радиодоступа NG-RAN одновременно несколькими операторами, имеющая название 5G MOCN (5G Multi-Operator Core Network).

Структурная схема такой совмещенной сети мобильного оператора MNO и виртуального оператора высокого уровня Full MVNO, основанная на технологии 5G MOCN, представлена на рис. 2.

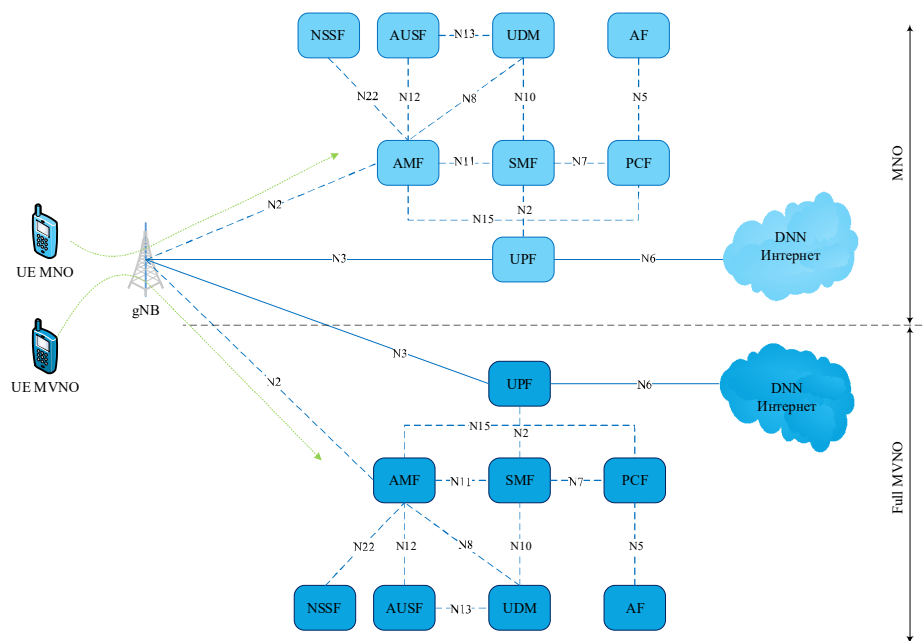


Рис.2. Структурная схема совмещенной сети мобильного оператора MNO и виртуального оператора Full MVNO на основе технологии 5G MOCN

Этот вариант построения сети предполагает совместное использование несколькими операторами MNO и MVNO как программно-аппаратных ресурсов базовых станций gNB сети радиодоступа NG-RAN, так и радиоресурсов. Радиоресурсы сети радиодоступа NG-RAN распределяются между операторами MNO и MVNO на основе согласованной внутренней политики и соглашения об уровне обслуживания SLA (Service Level Agreement).

Если виртуальный оператор MVNO высокого уровня имеет собственный код мобильной сети MNC_{MVNO} , то базовые станции gNB в составе ширококвещательной системной информации Broadcast System Information логического канала BCCH передают этот код наряду с кодом MNC_{MNO} оператора мобильной сети MNO в каждой соте.

Абонентские терминалы UE виртуального оператора, обнаружив этот код в составе идентификаторов сетей $PLMN-ID = MCC||MNC_{MNO}$, передаваемых ширококвещательным каналом соты PBCCCH, принимают решение о регистрации в сети, либо выполнения процедур перевыбора соты или хендвера в зависимости от текущего состояния (RM-DEREGISTERED, RM-REGISTERED/CM-IDLE, RM-REGISTERED/CM-CONNECTED).

Базовые станции gNB, приняв от абонентского терминала UE виртуального оператора запрос начальной регистрации в сети (Initial Registration), выполняют процедуру выбора модуля обслуживающей сетевой функции управления доступом и мобильностью (AMF).

Выбор базовой станцией оператора NMO модуля сетевой функции AMF, находящейся в зоне ответственности виртуального оператора MVNO, осуществляется на основе анализа информации, передаваемой абонентским терминалом в запросе регистрации (временного идентификатора 5G-GUTI или постоянного идентификатора SUPI/IMSI абонента виртуального оператора, информации о требуемых сетевых слоях NSSAI (Network Slice Selection Assistance Information)).

Особенности идентификации абонентов виртуального оператора

Используемые для идентификации абонента сети идентификаторы IMSI и GUTI в сети 5G имеют новые обозначение 5G-GUTI и SUPI/IMSI и содержат в своем составе код сети MNC_{MVNO} виртуального оператора. Идентификатор 5G-GUTI содержит также и глобальный идентификатор GUAMI модуля сетевой функции управления доступом и мобильностью AMF виртуального оператора. После того, как базовая станция gNB выбрала модуль, реализующий сетевую функцию AMF в зоне ответственности виртуального оператора, далее выполняется стандартная процедура, описанная в п. 4.2.2 технической спецификации [2] и вся сигнализация и трафик данных абонентов направляются в сеть виртуального оператора высокого уровня Full MVNO.

Отличительной особенностью сетей 5G является техническая реализация программных сетевых функций опорной сети 5G Core (UDM, AMF, SMF, UPF, PCF, AUSF, NSSF) с помощью набора виртуальных сетевых функций VNF. Виртуальные сетевые функции VNF по сути представляют собой виртуальные машины VMs, развёрнутые на серверах центра обработки данных (ЦОД). Современные приложения виртуальной инфраструктуры ЦОД позволяют легко создавать и управлять такими виртуальными машинами VMs. Таким образом виртуальный оператор высокого уровня может иметь один или несколько комплектов сетевых функций опорной сети 5G Core (UDM, AMF, SMF, UPF, PCF, AUSF, NSSF), каждый

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

комплект из которых отвечает за реализацию определенного вида сервиса. Согласно терминологии 3GPP комплекты обозначаются как сетевые слои (Network Slices). Взаимосвязь между параметром типа сетевого слоя SST (Slice/Service type) и ключевыми бизнес-моделями eMBB, uRLLC и MIoT приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1. Стандартные типы сетевых слоев SST виртуального оператора

Тип сетевого слоя (SST)	Значение параметра SST	Описание
Сетевой слой для предоставления услуг мобильного широкополосного доступа – eMBB (enhanced Mobile Broadband)	1	Слой для предоставления услуг передачи данных с высокими скоростями, например, потоковая передача высококачественного видео, файлов больших размеров и др.
Сетевой слой для предоставления услуг с ультрамалыми задержками – URLLC (ultra-reliable low latency communications)	2	Слой для предоставления услуг с ультрамалыми задержками между оконечными устройствами, например, для автоматизации производств/индустрий, обеспечения удаленного управления системами.
Сетевой слой для предоставления массовых услуг Интернет-вещей – MIoT (Massive IoT)	3	Слой для обеспечения взаимодействия огромного количества устройств IoT, размещенных с высокой плотностью.

Базовые станции gNB оператора мобильной сети MNO должны поддерживать все сетевые слои Network Slices, реализованные виртуальным оператором высокого уровня MVNO. Опорная сеть 5G Core может поддерживать большое количество сетевых слоев (более сотни), однако абонентские терминалы одновременно могут работать не более чем в восьми сетевых слоях [3]. Базовые станции оператора мобильной сети MNO воспринимают сетевой слой, как некую сетевую инфраструктуру с заданным уровнем обслуживания абонентов SLA. Радиоресурсы сети радиодоступа NG-RAN могут быть распределены как статически между различными сетевыми слоями, так и использоваться совместно несколькими слоями.

Виртуальный оператор Full MVNO может обладать собственной нумерацией, либо арендовать ее у оператора мобильной сети MNO. Разработанные требования к нумерации виртуального оператора Full MVNO в зависимости от наличия у виртуального оператора Full MVNO мобильного кода сети MNC_{MVNO} приведены в таблице 2.

Таблица 2. Требования к нумерации оператора Full MVNO

Структура идентификаторов, используемых в сети 5G	Требования к наличию у виртуального оператора Full MVNO мобильного кода сети MNC _{MVNO}	
	Да	Нет
SUPI (IMSI=MCC MNC MSIN) – международный идентификатор подписки абонента	100% ресурса принадлежит оператору Full MVNO	Ресурс нумерации MSIN должен быть распределен между операторами MNO и Full MVNO
SUPI (NAI = username @ realm)	100% ресурса принадлежит оператору Full MVNO	
SUCI (MCC MNC Routing Indicator Protection Scheme Id Home Network Public Key Id Concealed SUPI) – скрытый международный идентификатор подписки абонента	100% ресурса принадлежит оператору Full MVNO	Ресурс индикатора Routing Indicator должен быть распределен между операторами MNO и Full MVNO для доставки сообщений сигнализации к AUSF и UDM, содержащим профиль абонента виртуального оператора
M-TMSI – временный идентификатор мобильного абонента, уникальный в пределах AMF	100% ресурса принадлежит оператору Full MVNO	
5G-S-TMSI (AMF Set ID AMF Pointer M-TMSI) – временный идентификатор мобильного абонента, уникальный в пределах региона AMF Region ID	Ресурс нумерации AMF Set ID AMF Pointer должен быть распределен между операторами MNO и Full MVNO. Распределение нумерации требуется для исключения дублирования у операторов MNO и Full MVNO временных идентификаторов 5G-S-TMSI, в соответствии с которыми осуществляется пейджинг абонентов в совмещенной сети радиодоступа NG-RAN.	
DNN – имя внешней сети передачи данных	Весь ресурс принадлежит оператору Full MVNO	

Важным системно-сетевым аспектом создания виртуального оператора высокого уровня Full MVNO является реализация программного модуля с сетевой функцией тарификации CHF (автоматизированной системы учета трафика). Архитектура взаимодействия опорной сети 5G Core оператора Full MVNO с модулем с сетевой функцией тарификации CHF и биллинговым доменом показана на рис. 3. Из рисунка видно, что программный модуль триггерной функции STF, генерирующий события онлайн и офлайн тарификации встроен непосредственно в сетевую функцию управления сессиями абонентов SMF. Таким образом, контроль потребления трафика абонентами сети выполняется модулем управления сессиями и биллинговым доменом сети.

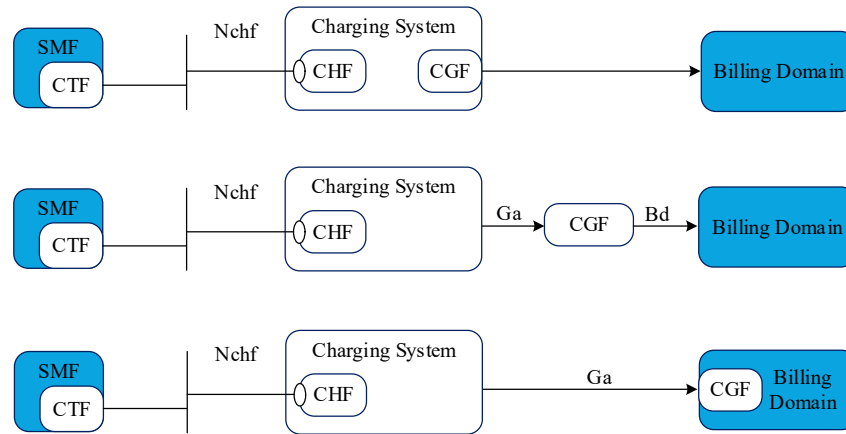


Рис.3. Архитектура взаимодействия опорной сети 5GC оператора Full MVNO с сетевой функцией тарификации CHF и Billing Domain

Анализ опыта создания виртуальных операторов высокого уровня Full MVNO сетей 4G в Российской Федерации показывает [4], что вариант построения сети на базе технологии MOCN не нашел широкого применения в силу ряда причин, таких как:

- невозможность учета трафика абонентов, так как в соответствии с архитектурой сети этот трафик маршрутизируется виртуальными операторами непосредственно с базовых станций оператора мобильной сети MNO, которые не имеют технической возможности учета трафика абонентов виртуального оператора высокого уровня Full MVNO;
- сложность технической реализации, связанной с необходимостью настройки взаимодействия огромного количества базовых станций оператора мобильной сети MNO с опорной сетью 5G Core виртуального оператора высокого уровня Full MVNO, в том числе связанной с настройкой транспортной сети IP Backhaul.

Некоторым упрощением технической реализации архитектуры, показанной на рис.2, может быть применение на сети оператора мобильной сети MNO облачной технологии Cloud RAN с высокой степенью централизации контроллера CU базовой станции gNB, однако при этом не исключается одновременное использование на сети 5G и базовых станций gNB со средней и низкой степенью централизации [5].

Для существующих сетей 4G наиболее широко распространенной моделью интеграции оператора мобильной сети MNO с опорной сетью виртуального оператора высокого уровня Full MVNO является шлюзовая модель GWCN. Эта модель, в которой точка стыка сетей MNO и Full MVNO располагается в опорной сети Core Networks. Разработанный вариант такой архитектуры применительно к сети 5G Core Network представлен на рис. 4.

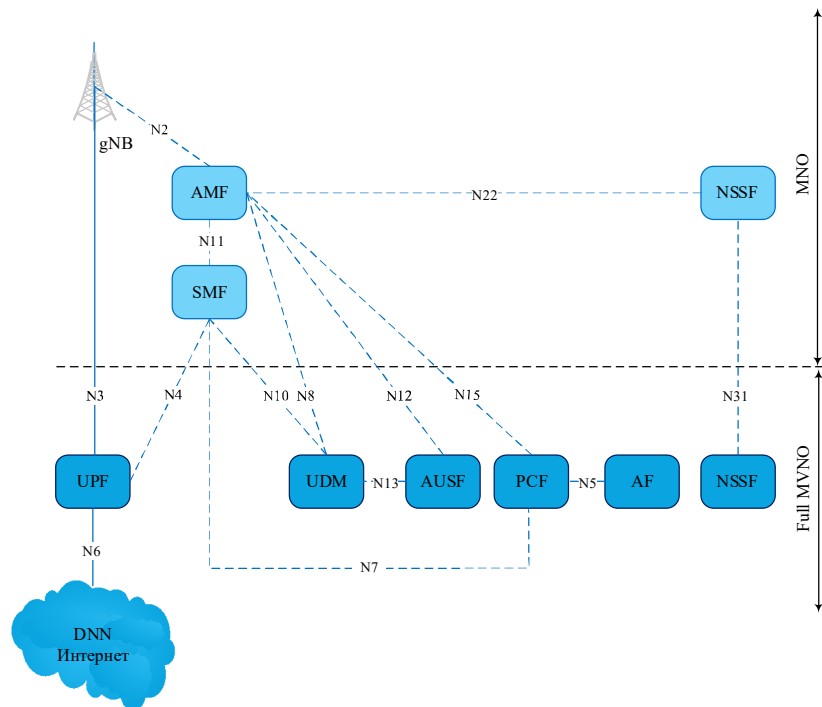


Рис.4. Структурная схема совмещенной сети мобильного оператора MNO и виртуального оператора Full MVNO на основе технологии 5G GWCN

В соответствии со схемой, представленной на рис.4, оператор мобильной сети MNO сохраняет контроль над трафиком виртуального оператора высокого уровня Full MVNO (например, получая и анализируя CDR-файлы непосредственно с модуля управления сессиями абонентов SMF, находящегося в своей зоне ответственности), упрощается техническая реализация сети Full MVNO.

Варианты построения архитектуры GWCN сети виртуального оператора

Учитывая, что внедрение сетей 5G существующими операторами мобильных сетей MNO может происходить по нескольким сценариям [5], то эволюционный сценарий является наиболее актуальным сценарием, при котором в переходный период радиопокрытие сетей 5G будет иметь фрагментарный характер и будет сосредоточено в местах наибольшего востребования услуг 5G. Сплошное радиопокрытие сетей 5G будет обеспечиваться базовыми станциями ng-eNB нового поколения 4G (LTE Advanced Pro). Разработанный вариант структурной схема совмещенной сети мобильного оператора MNO и виртуального оператора Full MVNO на основе технологии 4G/5G GWCN представлена на рис.5.

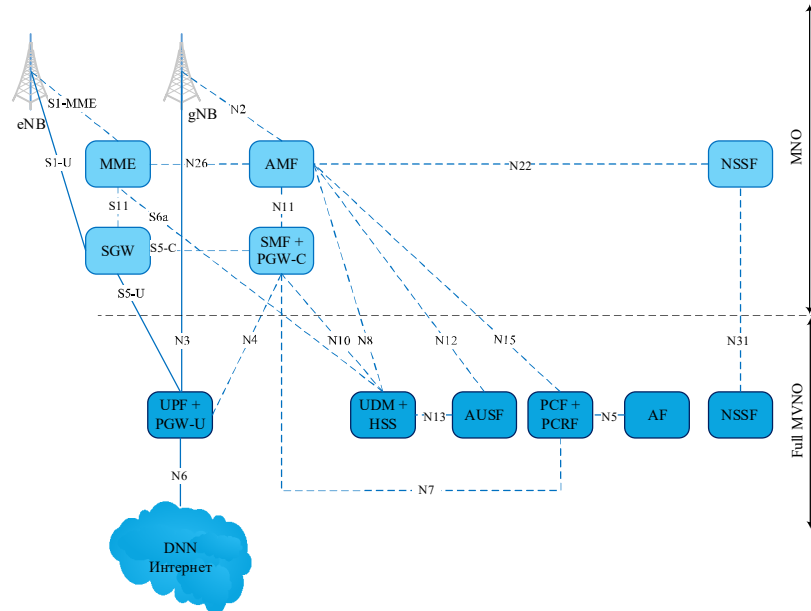


Рис.5. Структурная схема совмещенной сети мобильного оператора MNO и виртуального оператора Full MVNO на основе технологии 4G/5G GWCN

Как видно из рис.5 реализация совмещенной опорной сети 4G/5G подразумевает использование совмещенных сетевых элементов плоскости управления Control Plane (SMF+PGW-C, UDM+HSS, PCF+PCRF) и плоскости пользователей User Plane (UPF+PGW-U), как сети 4G Core, так и 5G Core. Кроме этого, оператор мобильной сети MNO должен предоставить доступ виртуальному оператору высокого уровня Full MVNO к таким элементам опорной сети 4G, как модуль управления мобильностью MME и сервисный шлюз SGW. Сервисный шлюз SGW может быть реализован в качестве единого сетевого элемента, либо распределенного в соответствии с технологией CUPS.

Сетевая инфраструктура оператора мобильной сети MNO, состоящая из таких элементов как AMF, SGW+PGW-C, MME, SGW может быть реализована по нескольким вариантам: наложенному или выделенному.

Наложённый вариант MNO подразумевает использование в архитектуре сетевых элементов AMF, SGW+PGW-C, MME, SGW, обслуживающих одновременно абонентов операторов MNO и Full MVNO.

Выделенный вариант MNO подразумевает использование в архитектуре указанных ранее сетевых элементов, выделенных оператором мобильной сети MNO только оператору Full MVNO в виде отдельного сетевого слоя опорной сети 5G Core, а также в виде выделенной опорной сети EPC (например, выделенная опорная сеть DECORE для значения идентификатора UE Usage Type = "MVNO", содержащая сетевые модули MME, SGW).

Для реализации выделенного варианта 5G Core предлагается расширить существующую размерность идентификатора сетевых слоев SST (Slice/Service type) до 4 (SST \in 1-4) и идентификатор SST=4 будет определять сетевой слой для услуг MVNO, содержащий сетевые функции AMF, SMF.

Сетевой слой, выделенный оператором мобильной сети MNO под сервис MVNO, может быть разделен между несколькими виртуальными операторами при помощи сетевого параметра SD (Slice Differentiator). Дифференциатор слоев SD является сетевым параметром, дополняющим идентификатор сетевых слоев SST, чтобы различать несколько сетевых слоев одного и того же типа Слой/Услуга. Параметр SD позволяет сетевые функции NF, принадлежащие к одному слою с одним значением S-NSSAI, использовать для различных целей.

Разработанные структурные схемы, представленные на рис. 2, 4 и 5, справедливы при использовании базовых станций gNB сети радиодоступа 5G, подключенных к опорной сети Core в соответствии с опцией 2 архитектуры 5G [6,7]. В случае реализации на сети оператора 5G мобильной сети MNO других опций архитектуры (например, 3/3A, 4/4A, 5, 7/7A) представленные выше структурные схемы будут меняться соответственным опции образом, обеспечивая решение задачи поддержки сети Full MVNO.

Выводы

Новые технологии сетей 5G позволяет виртуальным операторам высокого уровня Full MVNO решать задачу построения сети без использования сети радиодоступа NG-RAN и обеспечивать вывод на рынок услуг 5G с дополнительной стоимостью, используя эти технологические возможности.

Варианты построения архитектуры сети виртуального оператора Full MVNO на базе сетевых элементов 5G будут зависеть от опций архитектуры построения сети, которые определяют конфигурацию опорной сети 5G.

Разработанные авторами структурные схемы на основе архитектуры GWCN охватывают наложенный или выделенный варианты построения совмещенной сети MNO 4G/5G.

Литература

1. 3GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System; Stage 2
2. 3GPP TS 23.502. Procedures for the 5G System; Stage 2
3. 3GPP TS 38.300. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2
4. Рынок MVNO в России и в Европе: основные тенденции и перспективы развития. Отчет Jonson & Partners, июнь 2016.
5. 3GPP TS 38.104 NR; Base Station (BS) radio transmission and reception
6. 3GPP TS 38.801 Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces
7. 3GPP TR 23.799. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ 2D И 3D СРЕД В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЗОН ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Хайретдинов М.С., Карavaев Д.А., Якименко А.А.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН, Россия*

Новосибирский государственный технический университет, Россия

e-mail: marat@opg.sccc.ru, kda@opg.sccc.ru, al--le@yandex.ru

***Аннотация.** В статье обсуждается задача восстановления скоростных моделей упругих сред в тематике работ по мониторингу зон подземных ядерных взрывов. Предложен подход, основанный на решении прямой геофизической задачи для набора сейсмических данных. В работе представлены описание задачи, метод решения, программная организация и результаты численных экспериментов по моделированию распространения упругих волн для сред с включениями 3D каверн и для 2D упругих сред. Включение следует рассматривать как каверну, образованную в результате подземной ядерного взрыва, которая может быть частью среды с ненулевыми значениями упругих параметров или представлять собой вакуумное пространство. Для выполнения численных экспериментов разработано программное обеспечение для построения 2D и 3D моделей неоднородных упругих сред и для проведения моделирования сейсмических полей. Приводятся теоретические результаты моделирования в виде поперечных сечений воссозданных моделей и сейсмического поля.*

1. Введение

Основные задачи в области численного моделирования в геофизике связаны с разработкой программного обеспечения, например, для мониторинга кавернозных и прилегающих зон подземных ядерных взрывов с целью отслеживания временной динамики исследуемых районов. Экологический аспект решаемой задачи связан с необходимостью контролировать пути возможного распространения радиоактивных продуктов, образующихся в ходе подземных ядерных взрывов. Чтобы восстановить модель упругой среды, можно решать обратную геофизическую задачу или найти решение из набора прямых задач. Во втором случае необходимо провести моделирование для различных значений упругих параметров и геометрий, описывающих объект исследований [1]. Затем можно провести сравнение теоретических результатов и уточнить упругую модель, чтобы она лучше соответствовала экспериментальным данным.

Основными задачами исследования, которые были реализованы в программном обеспечении для решения прямой задачи геофизики, являются:

- Разработка и адаптация алгоритмов численного моделирования распространения упругих волн в неоднородных 2D и 3D средах.
- Разработка структурной схемы и параллельного алгоритма для численного моделирования для гибридных архитектур.
- Расчеты с использованием MPI + OpenMP и MPI + CUDA для 2D и 3D моделирования распространения упругих волн в неоднородных средах с моделями упругих сред.

Для решения динамической задачи теории упругости мы используем систему уравнений, записанную в терминах скоростей смещений и напряжений. Для решения задачи был выбран метод конечных разностей как один из самых популярных и удобных и настраиваемых методов. Такие методы часто основаны на использовании смещенных сеток [2-4]. В наших исследованиях мы рассматриваем упругие модели только с плоской геометрией свободной поверхности. Это означает, что высота объектов на свободной поверхности невелика по сравнению с общей глубиной области моделирования. Кроме того, можно сказать, что мы имеем дело с моделированием для регионов, близких к реальным, к примеру испытательный полигон.

Модель упругой среды может иметь неоднородную структуру, состоящую из слоев и включений, расположенных внутри вычислительной области. Включения могут быть объектами, имеющими форму из набора геометрических фигур, которые имеют аналитическое описание. Интересующие нас геометрии - это модели с включениями в виде трехмерных или двумерных полостей [1]. В статье мы кратко обсудим алгоритмы, которые мы используем в разработанных программных кодах для реконструкции геометрии сеточной модели и определения значений упругих параметров в каждой ячейке. В работе представлено описание параллельная реализация. Изучение поведения параллельного алгоритма на разных тестах является отдельной задачей, которая не рассматривается в работе.

Разработанные программы могут помочь реконструировать неоднородные модели с включением и выполнить моделирование сейсмического поля на суперкомпьютерах. Полученные численные результаты могут иметь практическое применение в области изучения особенностей структуры сейсмического поля и верификации геофизических моделей.

2. Постановка задачи и методы

Геофизический объект может быть описан как часть подповерхностной структуры, имеющей линейные размеры. Реальные объекты имеют сложную геологическую геометрию, но при работе с моделями мы применяем некоторые ограничения в соответствии с областью моделирования. В настоящем исследовании мы работаем только с изотропных случаем упругих сред. Модельная область должна быть прямоугольной формы с плоской геометрией свободной поверхности. Геофизический объект должен описываться тремя основными параметрами:

скоростью P волн, скоростью S волн и плотностью. В общем случае, эти параметры являются функциями координат. Следует отметить, что мы применяем технику Perfect Mixed Layers (PML), чтобы сделать амплитуду отраженных волн пренебрежимо малой. В этом случае зоны PML располагаются на границах области моделирования, см. Рис.1.

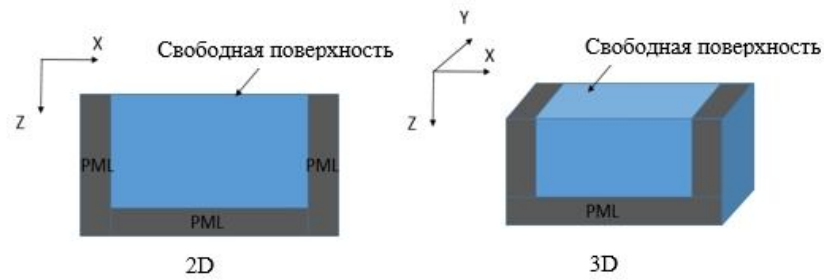


Рис. 1. Область моделирования в 2D и 3D случаях

Процесс моделирования упругих волн описывается системой уравнений динамической теории упругости. Мы используем формулировку в виде компонент скоростей и напряжений. Таким образом, общие уравнения для трехмерного случая имеют вид (1):

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = [A] \vec{\sigma} + \vec{F}(t, x, y, z), \quad \frac{\partial \vec{\sigma}}{\partial t} = [B] \vec{u}, \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial x} & \lambda \frac{\partial}{\partial y} & \lambda \frac{\partial}{\partial z} \\ \lambda \frac{\partial}{\partial x} & (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial y} & \lambda \frac{\partial}{\partial z} \\ \lambda \frac{\partial}{\partial x} & \lambda \frac{\partial}{\partial y} & (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial z} \\ \mu \frac{\partial}{\partial y} & \mu \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ \mu \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \mu \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & \mu \frac{\partial}{\partial z} & \mu \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix}$$

где t - время, ρ - плотность, λ и μ - параметры Ламе.

Начальные и граничные условия имеют вид (2):

$$\vec{\sigma} |_{t=0} = 0, \vec{u} |_{t=0} = 0, \sigma_{xz} |_{z=0} = 0, \sigma_{yz} |_{z=0} = 0, \sigma_{zz} |_{z=0} = 0 \quad (2)$$

Мы используем точечный источник для генерации сейсмического сигнала, функция $\vec{F}(t, x, y, z)$. Он может быть в виде «всеобъемлющей силы» или «вертикальной силы» в направлении оси Oz. Доминирующая частота источника определяется пользователем.

Для решения задач численно применяем конечно-разностный метод на смещенных сетках. Применяется схема четвертого порядка точности в двумерном случае [3,4] и второго порядка в трехмерном случае [2]. Описание конечно-разностных аппроксимаций можно найти в соответствующих работах. В трехмерном случае компоненты скорости размещаются в центре граней, напряжения $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$ и упругие параметры (V_p, V_s и ρ) помещаются в центр ячейки, остальные напряжения размещаются на соответствующих ребрах. 3D-сетка организована таким образом, что компонент Uz размещается на свободной поверхности. В 2D случае компонента Ux помещается на свободную поверхность.

Геометрический объект с нулевыми или ненулевыми упругими параметрами описывает кавернозную зону. Он имеет линейные размеры и аналитическое описание. Он может быть сконструирован как объект овальной формы или с помощью геометрических примитивов [1].

Мы применяем так называемую «вакуумную» технику для реализации полости овальной формы с нулевыми упругими параметрами в расчетах. В этом случае следует воспринимать границу полости как свободную поверхности (свободной поверхности). Это означает, что для каждой граничной ячейки каверны в трехмерном случае должны быть выполнены нулевые граничные условия. Поэтому во всех трех направлениях алгоритм проверяет реализацию соответствующих граничных условий для компонент напряжений, например $\sigma_{xx} |_{border} = 0, \sigma_{xz} |_{border} = 0, \sigma_{zz} |_{border} = 0$, в поперечном сечении Oxz трехмерной модели.

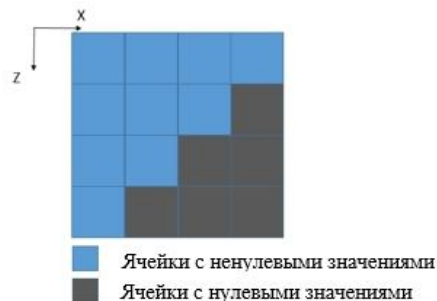


Рис. 2. Расположение ячеек с различными значениями упругих параметров в 3D случае

Чтобы реализовать такую технику в программном коде есть дополнительные 3D-массивы, отражающие присутствие зоны полости. Такие массивы содержат информацию, полученную путем сопоставления значений параметров упругости, размещенных в центре ячеек для каждого двух соседних ячеек в каждом из трех направлений. В соответствии с этим мы будем знать влияние границы зоны полости, поскольку, например, левая ячейка имеет ненулевое значение параметра, а правая ячейка имеет нулевое значение. Если программный код отмечает «отличное от нуля» - «ноль» - «ноль» - «ноль» в направлении Ox , в этом случае наблюдается граница между первой и второй ячейками, см. Рис.2.

Для моделирования в трехмерных упругих средах используется конечно-разностная схем второго порядка точности по пространству.

В 2D случае применяется подобная система уравнений, но для двух компонент скоростей смещений (u_x, u_z) и трех компонент напряжений $(\sigma_{xx}, \sigma_{xz}, \sigma_{zz})$. Для численных экспериментов в 2D упругих средах используется конечно-разностную схему четвертого порядка точности по пространству.

Метод PML хорошо известен и широко используется для решения различных задач. Более подробное обсуждение PML, используемое для конечно-разностного моделирования распространения упругих волн в настоящей работе, представлено в работах [6, 7].

2.1 Реконструкция геофизической модели

В работе рассматривается задача моделирования распространения упругих волн в неоднородных средах с сложным геометрическим строением. Для создания набора геофизических моделей, используемых для конечно-разностного моделирования, требуется программа для определения распределения упругих параметров в ячейках сетки и для задания исходных данных, содержащих информацию о геометрии и распределении данных для объектов, составляющих модель. Мы разработали два программных кода для построения 2D-сеточных моделей, или иначе, создания трех двумерных массивов, содержащих информацию о значениях упругих параметров.

Первая программа создания неоднородной модели основана на алгоритме определения попадания точки внутрь многоугольника. Такая техника позволяет построить сложную геометрию с «грубыми» хорошо распознаваемыми границами, используя список полигонов с координатами их вершин.

Во второй программе реализован алгоритм кубической сплайн интерполяции. Предложим, что мы задан 1D вертикально ориентированных данных с заданными значениями глубин и значений упругих параметров для каждого горизонта. Необходимо получить двумерные массивы с распределением данных в ячейках сетки. Зная размер сетки (количество точек в каждом направлении) и шаг сетки вдоль оси, мы можем применить 1D сплайн интерполяцию в направлении оси Oz , а затем 1D интерполяцию в направлении оси Ox , чтобы получить значения в ячейках

сетки. Использование сплайнов позволяет получить плавное изменение упругих параметров между разными границами.

Для проверки результатов работы программ мы выбрали 2D профиль длиной 600 м (по оси Ox) и глубиной около 300 м (вдоль оси Oz), см. Рис.3. Результаты восстановления модели представлены на рис. 4 и рис.5. Распределение начальных значений параметра V_p для каждой зоны (многоугольника), составляющей общую геофизическую модель, можно увидеть на рис. 3.



Рис. 3. Распределение данных для 2D профиля

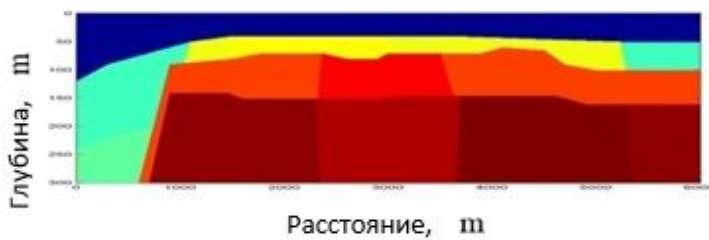


Рис. 4. Пример восстановления модели с использованием полигонов

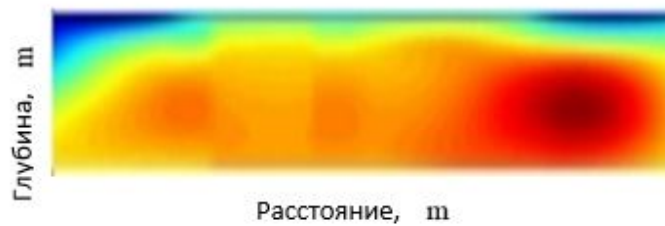


Рис. 5. Пример восстановления модели с применением сплайнов

2.2 Параллельная реализация

Для возможности работы с крупномасштабными геофизическими моделями и с моделями, близкими к реальным объектам с мелкозернистой сеткой, необходимо было разработать параллельные алгоритмы. Наблюдая за тенденциями в

архитектурах суперкомпьютеров, следует отметить наращивание вычислительной мощности с использованием многоядерных устройств [7]. Такие вычислительные устройства включают в себя десятки и сотни вычислительных ядер, работающих параллельно. Архитектуры могут быть построены на серверах с многоядерными процессорами, серверами с процессорами и несколькими графическими процессорами на одном узле, на сопроцессорах Xeon Phi без управляющих процессоров. Представленные типы суперкомпьютерных систем есть в Центре коллективного использования Сибирского суперкомпьютерного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ССКЦ СО РАН). Первая система - это гибридный кластер НКС-30Т, вычислительные узлы которого включают серверы с многоядерными процессорами Intel Xeon, вычислительные узлы с двумя процессорами и тремя графическими процессорами Nvidia Tesla. Кроме того, имеется кластер НКС-1П с узлами Broadwell (Intel Xeon) и KNL (Intel Xeon Phi). Параллельные алгоритмы и программные коды в основном предназначены для практического использования суперкомпьютеров ССКЦ.

Программный код для 3D расчетов был разработан с использованием MPI и OpenMP в. Применяется 1D декомпозиция по данным на трехмерные срезы вдоль оси Oz. В этом случае мы имеем дело с множеством подобластей, пронумерованных от 0 до N-1, начиная с верхнего, где N - это число устройств, работающих в параллельно. Такое распараллеливание является самым простым. Мы можем использовать OpenMP для параллельных вычислений на выделенных вычислительных устройствах. Количество потоков OpenMP контролируется пользователем и выбирается в соответствии со спецификациями устройства. 3D способ декомпозиции области моделирования может быть более лучшим и быстрым, но использование зон PML имеет особенности, поскольку размещены на боковых гранях в направлении осей Ox и Oy и в нижней части модели вдоль направления оси Oz. Были разработали параллельные программные коды без PML и на основе 3D декомпозиции по данным. Сравнение работы алгоритма на 3D тестовых моделях на суперкомпьютерах представлено в работе [8]. В упомянутых системах GPU находятся под управлением CPU. В этом случае необходимо выполнять обмены данными между процессором и вычислительным устройством на каждом шаге итерации, чтобы реализовать обмен между соседними точками, размещенными на гранях соседним подобластей. В случае использования GPU разработаны вычислительные «ядра» с использованием CUDA. Ядра - это процедуры, переписанные с использованием спецификаций языка CUDA, таких как замена циклов «for» на проверку условий типа «if», и с использованием префикса «__global__» для процедур. При работе с пользователем CUDA необходимо определить количество параллельных потоков и блоков. Работая с программными кодами MPI + OpenMP, можно контролировать количество потоков OpenMP.

3. Результаты моделирования

Для восстановленной 2D модели (см. Рис. 5) было проведено моделирование для получения сейсмического поля и тестирования разработанного программного обеспечения. Использовался сейсмический источник с доминирующей частотой 15 Гц, размещенный на свободной поверхности с координатой 0.5 км по оси Oх. Был реализован источник типа «вертикальной силы». Теоретические результаты моделирования были получены в виде снимков сейсмического поля вертикальной составляющей для разных времен расчета, см. Рис.6.

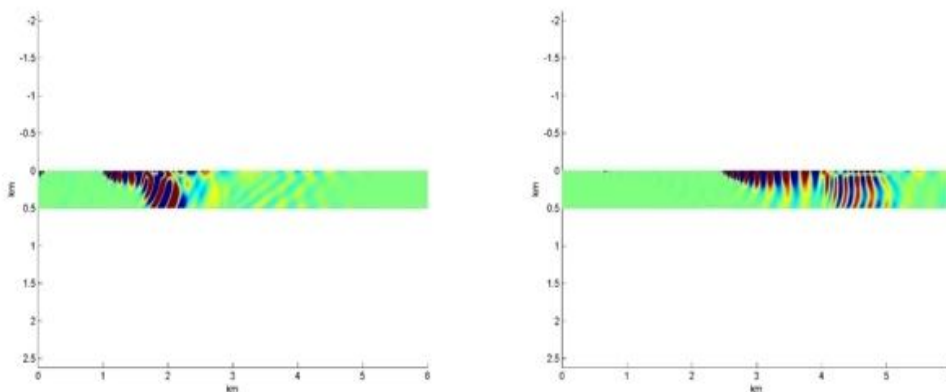


Рис. 6. Снимки сейсмического поля вертикальной компоненты для 2D профиля

Для изучения работы предлагаемого «вакуумного» метода для моделирования 3D сейсмического поля с наличием зоны полости с нулевыми значениями упругих параметров была выбрана одна из простейших тестовых моделей. Она состоит из упругой среды с полым включением сферической формы. Была построена модель с линейными размерами 4 км x 1.0 км x 1.0 км. Центр каверны располагался в координатах (2.0 км, 0.5 км, 0.52 км). Радиус полости был выбран 0.22 км. Применялся точечный сейсмический источник типа «всесторонняя сила» с частотой 10 Гц. Источник располагался вблизи свободной поверхности в координатах 0.3 км вдоль Oх и 0.5 км вдоль оси Oу соответственно. Снимки сейсмического поля, полученные для компонент U_x и U_z для поперечных сечений трехмерной модели, проходящих через точку расположения источника. Результаты моделирования представлены на рис.7 и рис.8. Все вычисления выполнялись с использованием разработанных параллельных программных кодов на суперкомпьютерах ССКЦ.

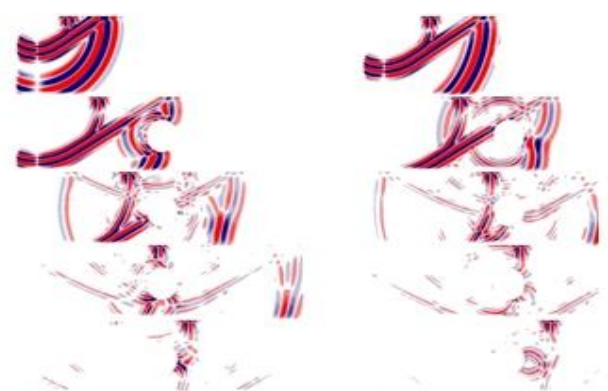


Рис. 7. Снимки U_x компоненты сейсмического поля в плоскости Oxz

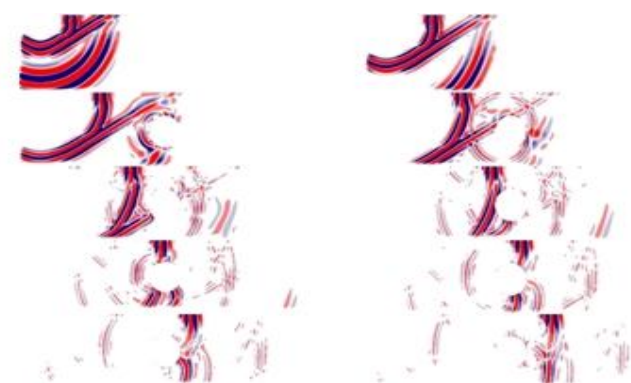


Рис. 8. Снимки U_z компоненты сейсмического поля в плоскости Oxz

На представленных рисунках видна эволюция сейсмического поля и наблюдается передняя, коническая, отраженные и других типы сейсмических волн. Показано как выглядит 3D сейсмическое поле для разных компонент в присутствии трехмерной полости с нулевыми значениями упругих параметров.

4. Выводы

В статье обсуждается проблема восстановления скоростных моделей для 2D и 3D сейсмических полей и решение задачи моделирования сейсмических полей с использованием сеточных методов на основе конечно-разностных аппроксимаций. Предлагаемая методика включает решение прямой геофизической задачи для набора моделей и сравнение теоретических и геофизических данных. Представлены постановка задачи и метод решения. Разработаны параллельные алгоритмы и программные коды для моделирования на многоядерных суперкомпьютерных архитектурах. В расчетах могут использоваться CPU, устройства типа Xeon Phi или

GPU. В статье кратко представлена организация параллельных вычислений. Для определения значений упругих параметров на сетке с использованием распределенных входных данных было разработано несколько программных кодов. Для 3D случая разработанный построитель моделей объединен с программой моделирования сейсмических полей. Для 2D случая мы разработали два отдельных программных кода. Один для восстановления сеточной модели, другой для моделирования на основе конечно-разностного метода. Возможно построить сеточную модель (определить 2D данные, содержащие информацию о распределении значений основных упругих параметров в ячейках сетки) с использованием кубической сплайновой интерполяции или метода «определения попадания точки внутрь полигона». Проверка работы программных кодов выполнена на примере 2D профиля. Проведено сейсмическое моделирование для трехмерной упругой модели с каверной с нулевыми значениями упругих параметров. Представлены полученные результаты моделирования распространения упругих волн в 2D и 3D неоднородных средах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 16-07-01052 А, № 17-07-00872 А, № 18-41-543012 р_мло_а, № 18-47-540006 р_а, № 18-51-41002 Узб_т) и Российского научного фонда (проект № 18-11-00044).

Литература

1. Yakimenko, A. A., Karavaev, D., Belyashov, A.: Seismic field simulation on high-performance computers in the problem of studying the consequences of underground nuclear tests. Computational and informational technologies in science, engineering and education: abstr. of the intern. conf. (CITech 2015). ISBN 978-601-04-1389-4. (2015)
2. Virieux, J.: SH-wave propagation in heterogeneous media: Velocity stress finite-difference method. Geophysics, 51. p. 889-901 (1986)
3. Levander, A.: Fourth-order finite difference P-SV seismograms, Geophysics 53, 1425–1436. (1988)
4. Moczo, P.: Introduction to Modeling Seismic Wave Propagation by the Finite-Difference Method. Lecture Notes, Kyoto University, (1998) ftp://www.nuquake.eu/pub/Papers/Moczo_LN_Kyoto_1998.pdf
5. Komatitsch, D., Tromp, J.: A Perfectly Matched Layer (PML) absorbing condition for the second-order elastic wave equation. Geophys. J. Int. 154, 146-153. (2003)
6. Komatitsch, D., Martin, R.: An unsplit convolutional Perfectly Matched Layer improved at grazing incidence for the seismic wave equation. Geophysics, vol. 72, pp. 155-167 (2007)
7. Point-In-Polygon Algorithm — Determining Whether A Point Is Inside A Complex Polygon, <http://alienryderflex.com/polygon/>
8. Tobin, J., Breuer, A., Heinecke, A., Cui, Yifeng.: Accelerating Seismic Simulations Using the Intel Xeon Phi Knights Landing Processor. High Performance

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

Computing: 32nd International Conference, ISC High Performance 2017. Proceedings. pp. 139-157. (2017). doi: 10.1007/978-3-319-58667-0_8

9. Karavaev, D.A., Glinsky, B.M., Kovalevsky, V.V.: A Technology of 3D Elastic Wave Propagation Simulation Using Hybrid Supercomputers. CEUR Workshop Proceedings 1st Russian Conference on Supercomputing Days, Vol. 1482, pp. 26-33 (2015)

СРЕДА GITHUB КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

Чванова А.О., Байдикова Н.В., Касымова Д.Т

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан
e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru*

***Аннотация.** В работе рассматривается возможность использования сервиса облачного хранения данных GitHub для организации обучения. Github – является крупнейшим хостингом для хранения IT-проектов. Github в образовательной деятельности позволит проводить: учет выполнения самостоятельно практических заданий обучающимся, контроль качества их выполнения, анализ применения теоретических знаний и умений в различных дисциплинах, умений находить взаимосвязи между фундаментальными и прикладными знаниями.*

В Послании Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана «Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность» 31 января 2017 г. для развития перспективной отрасли как цифровые сервисы было дано поручение по реализации программы «Цифровой Казахстан» [1]. Программа, в том числе, нацелена на развитие образовательной инфраструктуры, а именно информационной среды образовательного учреждения, что предполагает внедрение и эффективное использование новых цифровых сервисов. Важная роль новых цифровых технологий в образовании состоит в том, что они не только выполняют функции инструментария, используемого для решения отдельных образовательных задач, но и придают качественно новые возможности обучению, способствуют созданию новых форм обучения и образования. Информатизация образования в настоящее время является необходимым условием развития общества.

Совершенствование информационных технологий занимает важное место среди многочисленных новых направлений развития образования. Оно нацелено на развитие образовательной инфраструктуры, а именно информационной среды образовательного учреждения, что предполагает внедрение и эффективное использование новых информационных сервисов. Важная роль новых

информационных технологий в образовании состоит в том, что они не только выполняют функции инструментария, используемого для решения отдельных педагогических задач, но и придают качественно новые возможности обучению, способствуют созданию новых форм обучения и образования.

С развитием компьютерных средств и внедрением их в образовательный процесс у его участников появляются новые возможности и существенно облегчается процесс обучения.

Цифровые технологии позволят упорядочить и систематизировать имеющуюся информацию по различным направлениям деятельности как в образовании, так и в отраслях.

Одним из перспективных направлений представления информации в цифровом виде являются облачные технологии [2]. Под облачными технологиями (англ. cloud computing) понимают технологии распределённой обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет-сервис.

В настоящее время в мировой практике реализуются четыре модели развертывания облачных систем [3]:

– приватное облако (private cloud) — используется для предоставления сервисов внутри одной компании, которая является одновременно и заказчиком, и поставщиком услуг. Это вариант реализации облачной концепции, когда компания создает ее для себя самой, в рамках организации;

– публичное облако (public cloud) — подразумевает развертывание инфраструктуры с необходимым программным обеспечением и предоставление механизмов доступа к ним за пределами инфраструктуры учреждения;

– гибридное облако (hybrid cloud) — состоит из двух и более облаков различного типа; – общественное облако (community cloud) — вид инфраструктуры, предназначенный для использования конкретным сообществом потребителей из организаций, имеющих общие задачи. Примерами общественных облаков является платформа Windows Azure, веб-сервисы Amazon, Google App Engine и Force.com.

Для образовательных учреждений наиболее подходящими являются публичные и общественные облачные системы.

Проанализировав модели облаков и опыт применения их в зарубежных странах, мы пришли к выводу, что чаще всего образовательные учреждения используют модель облака «программное обеспечение как сервис». Использование этой модели не требует от образовательного учреждения создания собственного сервера и его обслуживания, позволяет избежать экономических и организационных затрат и дает возможность устанавливать собственные приложения на платформе, предоставляемой провайдером услуги.

Проведенный анализ позволил выделить следующие преимущества использования облачных технологий в образовательном процессе:

– экономические: основным преимуществом для многих образовательных учреждений является экономичность. Это особенно заметно, когда услуги, подобные электронной почте, бесплатно предоставляются внешними провайдерами.

Оборудование для этих услуг может использоваться для других целей или ликвидироваться. Помещения освобождаются, что является актуальным в условиях, когда все чаще ощущается недостаток учебных аудиторий;

– технические: минимальные требования к аппаратному обеспечению (обязательным условием является лишь наличие доступа к сети Интернет); – технологические: большинство облачных услуг высокого уровня либо достаточно просты в использовании, либо требуют минимальной поддержки;

– дидактические: широкий спектр онлайн-инструментов и услуг, которые обеспечивают безопасное соединение и возможности сотрудничества педагогов и учащихся.

В рамках нашего исследования интерес представляет последняя группа преимуществ. Можно выделить и некоторые недостатки облачных технологий, которые носят в основном технический и технологический характер и не влияют на их дидактические возможности и преимущества. К таким недостаткам можно отнести ограничение функциональных свойств программного обеспечения по сравнению с локальными аналогами, отсутствие отечественных провайдеров облачных сервисов (Amazon, Goggle, Salesforce и др. сосредоточены в США), отсутствие отечественных и международных стандартов, а также отсутствие законодательной базы применения облачных технологий. На данный момент имеются две наиболее распространенные сервисы для хостингов ПО, это Bitbucket и Github.

В нашем случае следует отдать предпочтение Github, так как необходима статистика и возможность временного отслеживания результатов учебной деятельности студентов.

На сегодняшний день GitHub – это один из самых популярных сервисов для совместной разработки программного обеспечения и его хостинга в облаке. Крупные IT-компании, такие как Microsoft, Google, Facebook и многие другие, используют данный ресурс для размещения исходных кодов своих разработок.

GitHub – это сервис на основе Git. Является удобным и популярным инструментом управления версиями и включает систему отслеживания ошибок [4].

Для каждого проекта можно создавать документацию и руководства по принципу wiki.

Сервис заработал в апреле 2008 года, но лишь относительно недавно он приобрёл огромную популярность. Его разработчиками являются Крис Ванстрас, PJ Хиетт и Том Престон-Вернер.

Репозиторий – это хранилище исходного кода вашего программного проекта. Публичный репозиторий виден абсолютно всем, а приватный только вашим разработчикам (тем, кому вы дали доступ) [4].

Работа с репозиторием возможна, как и с помощью веб-сайта, так и с помощью клиентов для компьютера (консольного или с графическим интерфейсом), которых существует множество.

GitHub – это своеобразная социальная сеть для разработчиков, позволяющая им просматривать код друг друга, оставлять комментарии, а также помогать в разработке.

Система управления версиями (от английского Version Control System, сокращенно VCS) – это набор инструментов для удобной работы с документами или файлами, которые могут измениться со временем, то есть может поменяться их версия.

Изменение версии особенно актуально для программного обеспечения и кода. Программы постоянно обновляются их разработчиками и их версии (и код!) меняются.

VCS позволяет отслеживать изменения в коде и подсвечивать участки текста программы, которые были добавлены или изменены.

VCS хранит все предыдущие версии документов, тем самым она позволяет обезопасить разработчиков от того, что они поломают программу и проект – всегда есть возможность откатиться к любой из предыдущих стабильных версий.

Основные термины VCS

Коммиты (commit). Чтобы лучше разобраться в данной теме, представим студента, который делает дипломную работу. Сегодня ему необходимо добавить новую форму в свое приложение. По ходу работы, он оставляет коммиты(фиксации) с соответствующей описательной информацией. Коммит – это сохранение изменений в проекте. Он обязательно должен сопровождаться текстовым комментарием разработчика о том, какая работа была проделана, и что изменено, либо написано. Коммит поможет другим разработчикам легче разобраться в чужом коде. Кроме того, по коммитам выполняется откат к предыдущей версии проекта, если вдруг что-то было сделано неправильно, либо с фатальными ошибками. Коммит фиксируется в локальном репозитории.

Всегда считается, что в репозитории, расположенном в облаке, находится самая актуальная версия проекта [4].

После того, как все необходимые работы выполнены, необходимо отправить коммиты в облачный репозиторий. При это происходит синхронизация локального коммита с облаком. Эта процедура называется push [5].

Внедрение данного сервиса, безусловно, окажет положительное воздействие на учебный процесс, существенно упрощая хранение и доступ ко всей информации.

Теперь, для того чтобы дать задания студентам, преподаватель может просто загрузить его в своем репозитории [6]. У всех студентов, подписанных на данного преподавателя, в новостной ленте отобразится запись вместе со ссылкой на соответствующий репозиторий.

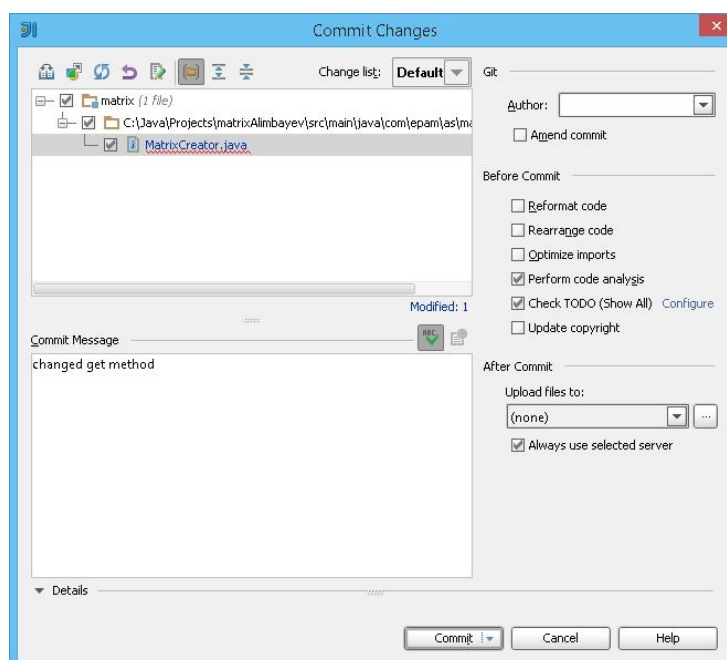



Рис. 1. Создание коммита

 [kgiustudent](#) created repository [kgiustudent/C-](#) 3 minutes ago

 **ProTip!** Edit your feed by updating the users you [follow](#) and repositories you [watch](#).


 [Subscribe to your news feed](#)

Рис. 2. Новостная лента преподавателя

Так же студенты могут выполнять задания, отправляя их на сервис. Результат проделанной работы сразу же отобразится в новостной ленте преподавателя.

Сервис отмечает активность своих пользователей [7], фиксирует дату и время произведенных коммитов, что позволяет, к примеру, узнать на сколько продвинулась курсовая или дипломная работа студента, сколько заданий он выполнил, какова успеваемость студента по другим дисциплинам. С помощью данного сервиса у руководства ВУЗа будет складываться четкая картина об успеваемости всех студентов, по всем дисциплинам.

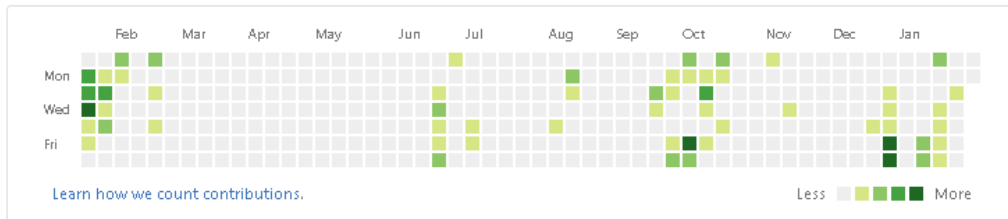


Рис. 3. Активность пользователя

И последняя особенность GitHub, благодаря которой она становится актуальной для студентов IT-специальностей, это ее широкая интегрированность в IDE. Во время обучения будущий программист изучает множество языков программирования. Это и Delphi, C++, C#, Visual Basic, UML, PHP и т.д. Для каждой из них существует IDE. В связи с тем, что IDE включает VCS, это существенно облегчает доступ к репозиториям. Студент сможет буквально в два клика загрузить или отправить проект приложения со всеми подключенными сторонними библиотеками [8]. Поработав над ними дома, ему необходимо синхронизироваться с сервером, а затем придя в ВУЗ подгрузить актуальную версию.

Литература

1. Государственная программа "Цифровой Казахстан". <http://www.zerde.gov.kz/activity/management-programs/digital-kazakhstan/> (11.08.2018)
2. Что такое облачные технологии и зачем они нужны? – <https://sonikelf.ru/oblachnye-techologii-dlya-zemnykh-polzovatelej/> (11.08.2018)
3. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития. – <http://swsys-web.ru/cloud-computing-basic-concepts-problems.html> (12.08.2018)
4. GitHub. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/GitHub> (11.08.2018)
5. Риз Дж. Облачные вычисления. / Дж. Риз – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 365 с.
6. Коробова Т.М. «Облачные технологии» в образовательном процессе. – <http://saratov.ito.edu.ru/2013/section/207/92664/>. (12.08.2018)
7. Эффективное использование Github. – <https://habrahabr.ru/company/2gis/blog/306166/> (13.08.2018)
8. Карр Н.Дж. Великий переход. Революция облачных технологий. / Дж. Н. Карр – М.: Манн, 2013. – 272 с.

АНАЛИЗ ТОНАЛЬНОСТИ КОРОТКИХ ТЕКСТОВЫХ СООБЩЕНИЙ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Юсупов М.

*Институт информационных и вычислительных технологий
КН МОН РК, Казахстан
e-mail: vakidzaci@gmail.com*

***Аннотация.** За последнее время увеличилось количество коротких текстов отзывов за счет быстрого роста социальных сетей и развитию других интернет площадок. Статья направлена на разработку методов предобработки текстов, выявления признаков коротких текстов и в дальнейшем анализе тональности этих текстов. В статье сравниваются методы и их эффективность. Для оценки используются следующие метрики: precision, recall, accuracy.*

***Ключевые слова:** анализ тональности текстов, машинное обучение, классификация текстов, автоматическая классификация, извлечение классификационных признаков.*

1. Введение

Влияние социальных сетей на общество увеличилось за последние годы, по этой причине социальные сети становятся объектом изучения социологов, маркетологов, психологов и PR-специалистов. Объем информации проходящий через социальные сети огромен и разнообразен. Специалистам приходится регулярно обрабатывать и анализировать данные для решения поставленных задач. Одна из таких задач – это поиск отзывов и упоминаний и классификация найденных текстов по тональности.

Практическая ценность анализа тональности включает, но не ограничивается следующими примерами:

- при запуске нового продукта, компании могут быстро узнать, как покупатели оценивают этот продукт, нужно ли что-то исправить в продукте или рекламных материалах;
- правительство сможет отследить реакцию населения на новый закон, уточнения, заявление;
- организаторы мероприятий (напр. конференций) могут собрать отзывы участников в социальных сетях и оценить, как прошло мероприятие, понравилось оно или нет;
- IT компании могут разработать эффективную систему поддержки пользователей, учитывая вопросы и отзывы пользователей;

– проведение маркетинговых исследований: изучение потребительских предпочтений, измерение степени удовлетворения потребностей потребителей, определение эффективности распространения продуктов или услуг;

В задаче классификации текстов по тональности можно выделить несколько подзадач:

- Классификация на 2 класса: положительный и отрицательный;
- Классификация на 3 класса: положительный, нейтральный и отрицательный;
- Классификация на 5 классов;
- Классификация на более, чем 5 классов, например, классификация по 10-бальной шкале.

Задачу классификации отзывов на два класса достаточно успешно решают, как с помощью словарей и правил, так и с помощью машинного обучения. При классификации узкотематических текстов на два класса, точность классификаторов, основанных на униграммах, превышает 82% [2]. При решении задачи классификации более, чем на два класса, точность классификации существенно снижается – это связано с субъективным восприятием информации: то, что один человек считает «позитивным», другой может отнести к «нейтральному» или даже «склонному к негативному». В статье [2] авторы показывают, что при разделении текстов на большое количество классов, даже человек показывает низкую точность классификации – точность снижается до 55%.

В данной статье разрабатываются методы для анализа тональности текстов, и описываются методы выявления признаков из текстов, а также их предобработки для оптимизации работы алгоритмов машинного обучения. Тексты были получены из социальной сети Twitter при помощи TwitterApi[3].

2. Описание корпуса

В качестве платформы для сбора корпуса был выбран Твиттер потому что:

1. Во-первых, пользователи твиттера часто выражают субъективное, эмоционально окрашенное мнение о чем-либо;

2. Для выражения эмоций, пользователи используют живой, разговорный язык, который может содержать сленг и ненормативную лексику, усиливающие тональность сообщений;

3. При написании сообщений, пользователи могут допускать широко распространённые ошибки, которые исправляются редакторами новостных изданий, но которые нужно учитывать при классификации по тональности текстов из Интернета (например, блогов или сайтов отзывов на товары).

С помощью Streaming API twitter [4] была собрана коллекция текстов, состоящая из около 15 миллионов коротких сообщений, на основе которой с помощью метода [5] и предложенной автором фильтрации [6] был сформирован сбалансированный корпус, состоящий из следующих коллекций:

- коллекция положительных сообщений 114 991 записей;
- коллекция негативных сообщений 111 923 записей;

3. Выявления признаков для задачи текстовой классификации по тональности

Все документы из обучающей и тестовой выборки представляют собой k -мерные векторы признаков. Таким образом документ определяется в виде вектора $d = (w_1, w_2, \dots, w_{|V|})$, где V — множество всех уникальных униграмм из обучающей выборки, w_i — вес i -й униграммы. Для взвешивания униграмм в данной работе используются следующие весовая схема TF-IDF, которая вычисляется по формуле:

$$tf.idf = tf \times \log \frac{T}{T(t_i)}$$

здесь и далее, tf — это частота встречаемости термина в коллекции (положительных или отрицательных твитов). T — общее число сообщений в коллекциях положительных и отрицательных, а $T(t_i)$ — число сообщений в положительной и отрицательной коллекциях, содержащих термин.

4. Предобработка текстов и размерность векторов

Перед тем как векторизировать тексты в вид $tf.idf$ тексты требуют предобработки. Так тексты, написанные пользователями, содержат грамматические ошибки, сленговые выражения, сокращения, экспрессивные выражения изменением написание слов, большое количество знаков, ссылок, дат и чисел.

Первым шагом для предобработки является удаления имен пользователей, начинающихся с знака “@” так как эта часть текста не несет никакой информации и практически является индивидуальной для каждого текста. Для этого шага была использована библиотека `nlk` которая имеет специальные инструменты для обработки сообщений “Tweeter”. Также была удалена вся пунктуация, из корпуса которая также не несет большого количества информации для анализа тональности текстов. Особенностью письменной речи пользователей для такого рода корпуса является частое повторение гласных букв, такие слова также исправлялись для того чтобы векторная форма $tf.idf$ смогла лучше взвешивать корпус так как векторизация зависит от словаря корпуса и частоты слова в корпусе.

Следующим шагом было исправление ошибок, допущенных пользователями иначе из-за ошибок слова будут рассмотрены как разные слова и будут случаться повторения в словаре корпуса, таких случаев нужно избегать, в противном случае векторизация будет проходить плохо и размерность вектора также будет большой требовать большого количества ресурсов при вычислении. Для исправления ошибок использовалась библиотека `ru morphology2`[7], библиотека которая имеет словарь русского языка и формы слов. Корпус также был нормализован при помощи `ru morphology2` по формам слова, были удалены приставки суффиксы и словоформы.

5. Униграммы

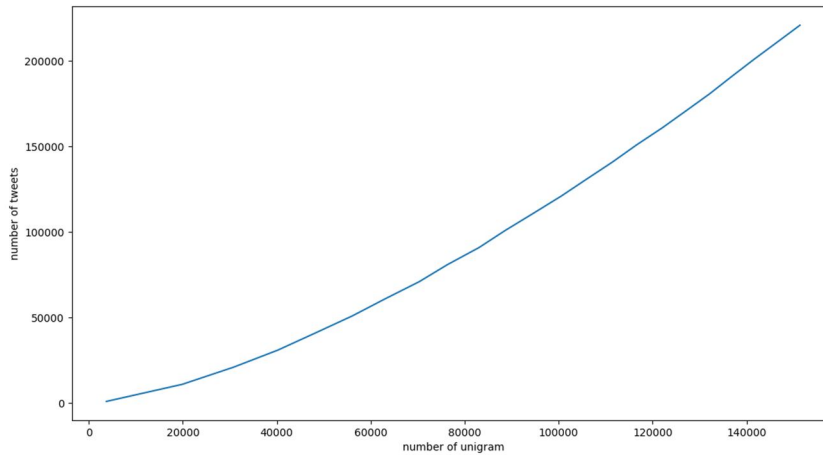


Рис 1. Количество униграмм по x оси и количество твитов по y

Как можно видеть на графике количество униграмм растет практически линейно. Количество униграмм является существенным так как для векторизации tf.idf униграммы будут формировать словарь корпуса, который в последствии определит эффективность алгоритмов.

Посмотрим на слова, которые характерны для позитивного и негативного класса:

Позитивные:

- ахахах
- надеюсь
- привет
- доброе
- самый
- приятно

Негативные:

- ужасно
- боль
- скучно
- болит
- людей
- обидно
- ненавижу

Как можно видеть, векторизация хорошо справляется с корреляцией слов с тональностью текста.

Таблица 1. Показатели алгоритмов на перекрёстной проверке

Algorithms	Accuracy
LinearSVC	0.7129486471991512
LogisticRegression	0.7228060877200223
SGDClassifier	0.7066929900156502

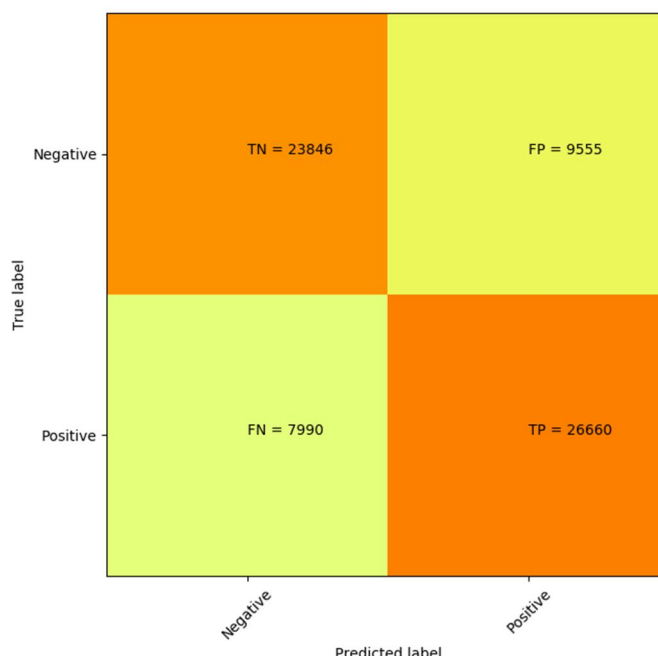


Рис 2. Матрица ошибок

6. Заключение

Подводя итоги из проделанной работы можно сделать несколько выводов. Твиты написанные требует большого количества предобработки перед векторизацией из-за большого количество ошибок в тексте, также сам русский язык требует предобработки, без которой размер словаря резко увеличивается.

Классические алгоритмы работают хорошо, но из большой размерности векторов вида tf.idf предпочтительнее использовать методы, которые работают хорошо на большой размерности. Как показали результаты логистическая регрессия хорошо справляется с большой размерностью, также подходит метод опорных

векторов с линейным ядром и стохастический градиентный спуск, из чего можно сделать вывод что линейные классификаторы эффективнее справляется с большими размерностями.

Благодарности

Работа финансируется грантом № BR05236839 «Разработка информационных технологий и систем для стимулирования устойчивого развития личности как одна из основ развития цифрового Казахстана».

Литература

1. Pang B., Lee L. Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques // Proc. of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). Philadelphia: ACL. 2002. pp. 79–86.
2. Pang B., Lee L. Seeing stars: exploiting class relationships for sentiment categorization with respect of rating scales // Proc. of ACL, 43rd Meeting of the Association for Computational Linguistics. Ann Arbor: ACM. 2005. pp. 115–124.
3. Ю. В. Рубцова. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора // Программные продукты и системы, 2015, №1(109), –С.72-78
4. The Streaming APIs. URL: <https://dev.twitter.com/docs/streaming-apis> (дата обращения: 28.10.2014).
5. Reed J.W., Jiao Y., Potok T.E., Klump B.A., Elmore M.T., Hurson A.R. TF-ICF: A New Term Weighting Scheme for Clustering Dynamic Data Streams // In: Proc. Machine Learning and Applications (ICMLA '06). 2006. pp. 258–263.
6. Рубцова Ю.В. Метод построения и анализа корпуса коротких текстов для задачи классификации отзывов // Электронные библиотеки: перспективные методы и что технологии, электронные коллекции: Труды XV Всероссийской научной конференции RCDL'2013. Ярославль. 2013. С. 269–275.
7. Morphological analyzer (POS tagger + inflection engine) for Russian and Ukrainian languages - <https://github.com/kmike/pymorphy2>

ON CALCULATION OF MAXIMUM FLOWS BETWEEN ALL PAIRS OF NODES IN A NON-ORIENTED GRAPH

Rodionov A.S.

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS,
Russia
e-mail: alrod@sccc.ru*

Abstract. *The task of obtaining and estimating maximum flows between all pairs of nodes in a given subset of a network's nodes is discussed. It is shown how significantly reduce number of operations by re-usage of some intermediate results while calculating maximum flows between several pairs of nodes. An arithmetical average of maximum flows between all pairs of nodes characterizes "throughput" of a network in a whole that may serve as the index of quality of a city's road network, for example. In partial case, links may be unreliable and thus mathematical expectations of maximum flows are considered.*

Introduction

Finding an arithmetic mean of mathematical expectation of a maximum u - v flow in a random graph is the old task and is considered by a number of researchers [1-5]. We consider new task: obtaining an arithmetic mean of mathematical expectations of maximum flows between all pairs of nodes in a given subset of nodes of an unreliable (in general case) network that we model by a random non-oriented graph with unreliable edges. This index shows how good a network is from the point of view of possibility of transferring flows through it in a whole. For example, it helps in estimating quality of transport infrastructure of a megalopolis.

G undirected probabilistic network;

N set of n nodes ($N(G)$, if it is needed for understanding);

E set of m edges ($E(G)$, if it is needed for understanding);

S set of pivot nodes, $|S|=s$;

$e_i (e_{ij})$ i -th edge or edge that connects i -th and j -th nodes, depending on context;

p_j operating probability of j -th edge, $q_j = 1 - p_j$;

$F_{ij}(G)$ maximum flow (MF) between nodes i and j in G , simply F_{ij} if G is known;

\mathbb{F}_{ij} mathematical expectation of a maximum flow (EMF) between nodes i and j ;

$\bar{F}(G)$ arithmetic mean of mathematical expectation of a maximum flow between all pairs of nodes in G ;

$Path_{ij}$ arbitrary path between nodes i and j ;

$R_{uv}(G)$ pairwise u - v reliability (probability of nodes u and v being connected in G);

t_{ij} throughput of the edge e_{ij} .

It is obvious that

$$\mathbb{F}_{ij}(G) = \sum_{H \in \Gamma} P(H) \cdot F_{ij}(H), \quad (1)$$

where Γ is a set of all possible realizations of G , and that

$$\bar{F}(G) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \mathbb{F}_{ij}(G)}{C_n^2} = \frac{2 \sum_{H \in \Gamma} P(H) \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n F_{ij}(H)}{n(n-1)}. \quad (2)$$

The problem is that when calculating all F_{ij} for some realization of G directly, a lot of results are obtained more than once (for example, when calculating MFs in a long chain or when G is a tree).

In the current paper, we discuss possible tricks for speeding up calculations and examine some special cases.

1. Cutnodes and Bridges

If there is a cutnode or a bridge in G (see Fig. 1), $S = S_1 \cup S_2$, $S_1 \cap S_2 = \emptyset$ and S_1 and S_2 belong to G_1 and G_2 , correspondingly, for each u in S_1 and v in S_2 , we have $F_{uv} = \min\{F_{ux}, F_{xv}\}$ or $F_{uv} = \min\{F_{ux}, t_{xy}, F_{yv}\}$, respectively. So we must obtain all F_{uv} only after calculating all F_{ux} and F_{xv} (F_{yv}), thus saving a lot of operations. Otherwise, one part of G in which all pivot nodes lays must be examined only.

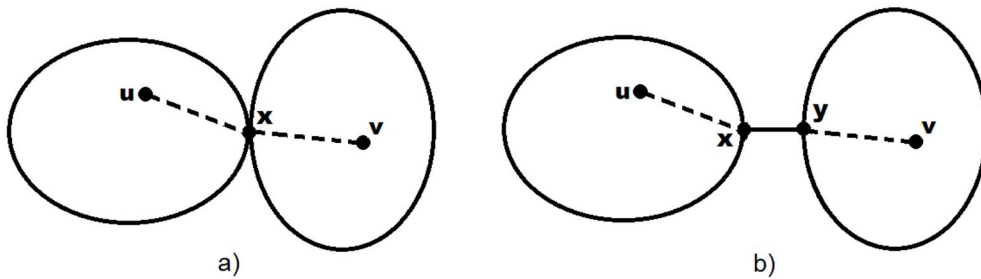


Fig. 1. Graphs with a cutnode (a) and bridge (b)

Partial case is existence of a pendant node.

1.1. Pendant Nodes

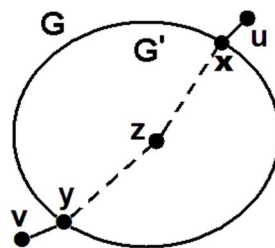


Fig. 2. Graphs with pendant nodes

Let us name a graph G without all pendant nodes as a kernel graph G' , set of pendant nodes as D , $S^* = S \cap D$ and a set of nodes in G that are adjacent to nodes in S^* (if it is not empty) as K .

MF from some pendant node $u \in S^*$ to a node $z \in V(G')$ (see Fig 2) is a minimum of a MF from its adjacent node $x \in K$ to z and a throughput t_{ux} as it inevitably goes through x . So

$$F_{uz}(G) = \begin{cases} \min\{t_{ux}, F_{xz}(G')\}, & \text{if } z \notin K; \\ t_{ux}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

and, obviously,

$$\mathbb{F}_{uz}(G) = \sum_{H \in \Gamma} p_{ux} P(H) \min\{t_{ux}, F_{xz}(H)\} = p_{ux} \sum_{H \in \Gamma} P(H) \min\{t_{ux}, F_{xz}(H)\}, \quad (4)$$

where Γ is the set of all possible realizations of G' .

As $\min\{t_{ux}, F_{xz}(H)\}$ is not known beforehand, we cannot find $\mathbb{F}_{uz}(G)$ in relation to t_{ux}, p_{ux} and $\mathbb{F}_{xz}(G')$ directly.

Now let H be a realization of G with a kernel H' . So, first we calculate all $F_{xy}(H')$, $x, y \in K$, that are equal to, simultaneously obtaining all $F_{uy}(H)$, $F_{uv}(H)$, and $F_{xv}(H)$ for nodes u and v , currently adjacent to x and y , correspondingly.

2. Case of a Cycle

Let us denote $\prod_{k=i}^{j-1} p_k$ as Π_{ij} .

In the case of a cycle, F_{ij} is determined by minimum throughputs in two paths between nodes i and j , thus

$$\mathbb{F}_{ij} = \Pi_{ij}(1 - \Pi_{1n} / \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{i,j-1}} t_k + \frac{\Pi_{1n}}{\Pi_{ij}}(1 - \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{1,n} \setminus N_{i,j-1}} t_k, \quad (5)$$

from which we easily obtain

$$\bar{F}(C_n) = \frac{2 \sum_{i,j \in S, i < j} \left[\Pi_{ij}(1 - \Pi_{1n} / \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{i,j-1}} t_k + \frac{\Pi_{1n}}{\Pi_{ij}}(1 - \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{1,n} \setminus N_{i,j-1}} t_k \right]}{s(s-1)}, \quad (6)$$

and, if $s=n$,

$$\bar{F}(C_n) = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[\Pi_{ij} (1 - \Pi_{1n} / \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{i,j-1}} t_k + \frac{\Pi_{1n}}{\Pi_{ij}} (1 - \Pi_{ij}) \min_{k \in N_{1,n} \setminus N_{i,j-1}} t_k \right]}{n(n-1)}. \quad (7)$$

3. Existence of a Chain

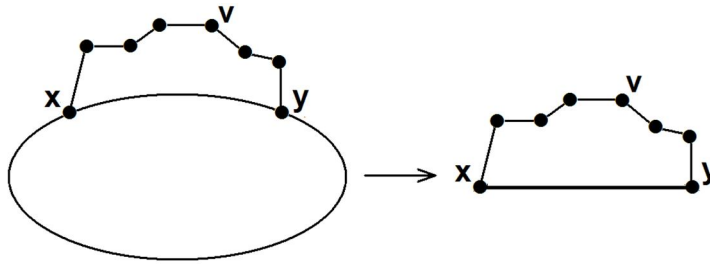


Fig. 3. Graphs with a long chain

If there is a chain Ch in a graph G that connects nodes x and y (see Fig. 3), we close this chain by a pseudo edge with a throughput equal to a MF between its ending nodes and reliability equal to $R_{xy}(G \setminus Ch)$, that is pairwise x - y reliability in a graph with removed chain. Throughput of this pseudo edge is equal to a maximum flow $F_{xy}(G \setminus Ch)$. Then, for calculating MFs and EMFs between nodes of a chain, we use results of the previous section.

Remark 1. If MFs from some node v to x and y in $G \setminus Ch$ go through independent sets of edges, then all F_{vj} for $j \in Ch$ may be obtained by using these results also.

Remark 2. If no inner nodes of Ch are pivot ones, then it is substituted by an edge with a throughput $t^* = \min\{t_i, i \in E(Ch)\}$, thus reducing graph's dimension and total number of operations.

4. Case of a Tree

In this case, we have a unique path between any pair of nodes. As we need compute maximal flows between all pairs of nodes, we may gain from this property.

First, we know all MFs between neighbor nodes: they are equal to throughputs of corresponding edges. Thus, if nodes u and v are adjusted, then $\mathbb{F}_{uv} = t_{uv} p_{uv}$.

Let us denote reliability of an unique path between nodes u and v as ρ_{uv} .

For obtaining rest F_{ij} depth-first traversal shows best results: for any intermediate node x maximal flow through it between some node u in one of upper levels and some node v in lower one is $F_{st} = \min\{F_{sx}, F_{xt}\}$ and so $\mathbb{F}_{st} = \min\{F_{sx}, F_{xt}\} \rho_{st}$.

As we use depth-first traversal, F_{ux} is known already along with ρ_{ux} , and thus for any node v that is successor of u we have

$$\mathbb{F}_{uv} = \min\{F_{ux}, t_{xv}\} \rho_{ux} \rho_{xv}. \quad (8)$$

By storing all MFs and reliabilities of corresponding paths from the root to all other nodes, we provide easy computing of rest MFs and EMFs for pairs of nodes that belong to different branches that start from joint node x : $F_{ij} = \min\{F_{ix}, F_{xj}\}$ and so

$$\mathbb{F}_{st} = \min\{F_{ix}, F_{xj}\} \rho_{ix} \rho_{xj}. \quad (9)$$

4.1. Case of a Chain

If a tree is a chain Ch with n nodes and $n-1$ edges e_1, e_2, \dots, e_{n-1} with reliabilities p_1, p_2, \dots, p_{n-1} , then $\rho_{ij} = \Pi_{i,j-1}$, and so, in the case $s=n$,

$$\mathbb{F}_{st} = \min\{t_k, k = i, \dots, j-1\} \Pi_{i,j-1}, \quad (10)$$

and

$$\bar{F}(Ch) = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \min\{t_k, k = i, \dots, j-1\} \Pi_{i,j-1}}{n(n-1)}. \quad (11)$$

In the case of equal edges' reliability (p) and throughput ($t=1$) we have

$$\bar{F}(Ch) = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n p^{j-i}}{n(n-1)} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=0}^i C_i^j p^{n-i+j} (1-p)^{i-j}}{n(n-1)}.$$

4.2. Case of a Star

Let a tree be a star S with $n+1$ nodes and n edges e_i , with reliabilities p_i and throughputs t_i , $i=1, \dots, n$, that connect center node 0 with rest nodes. In this case

$$\rho_{ij} = \begin{cases} p_j & \text{if } i = 0 \\ p_i p_j & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (12)$$

and so

$$\bar{F}(S) = \frac{2 \left(\sum_{i=1}^n t_i p_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \min\{t_i, t_j\} p_i p_j \right)}{n(n+1)}.$$

Conclusion

In this paper, we have proposed some methods that allow speeding up calculation of mathematical expectations of maximum flows between all pairs of nodes in a random graph (AEMS).

Comparing with calculating them one-by-one, proposed methods allows re-using of some intermediate results thus significantly reducing number of operations.

It is easy to see, that there are many opportunities for parallelization in obtaining AEMS with usage of the proposed methods or not. We can simultaneously calculate as many EMFs as possible by sequential algorithms or calculate them one-by-one by parallel ones. Parallelization in calculation of EMS for some pair of nodes may be done by simultaneous consideration of many realizations of a random graph, or by using parallel algorithms for obtaining MFs in its special realization. Thus, construction of effective parallel scheme for computing AEMS is multi-variant problem and is the task of our further investigations.

This work is partially supported by the grant RFBR 17-07-00775 and the budget project 0315-2016-0009 for ICMMG SB RAS.

References

1. Aldous D. J., McDiarmid C, and Scott A. Uniform multicommodity flow through the complete graph with random edge-capacities / D. J. Aldous, C. McDiarmid, and A. Scott // *Operations Research Letters*. – Elsevier, 2009. – Vol. 5, N. 37. – P.– 299-302, 2009.
2. McDiarmid C., Scott A., and Withers P. Uniform multicommodity flows in the hypercube with random edge-capacities. / C. McDiarmid, A. Scott and P. Withers // *Random Structures & Algorithms*. – John Wiley & Sons, 2016. – Vol. 50, N. 3. – P. 437-463.
3. Evans J. Maximum flow in probabilistic graphs – the discrete case. / J. Evans // *Networks* – John Wiley & Sons, 1976. – Vol. 2, N. 6. – P. 161-183.
4. Fujii Y. and Wadayama T. An analysis on minimum s-t cut capacity of random graphs with specified degree distribution / Y. Fujii and T. Wadayama // in *Proc. of the 2013 IEEE International Symposium on Information Theory – IEEE, 2013.* – P. 2895-2899. Electronic ISBN: 978-1-4799-0446-4, doi: 10.1109/ISIT.2013.6620755.
5. Wang H., Fan P., and Cao Z. Analysis of maximum flow in random graphs for network coding / H. Wang, P. Fan, and Z. Cao // in *Proc. of the 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications* – IEEE, 2005. – Vol. 2. – P. 1062-1065. doi: 10.1109/MAPE.2005.1617822

Содержание

СЕКЦИЯ 1

Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления

Arshidinova M.T., Begaliyeva K.B., Askarova A., Nogaybaeva M.O., Kudaykulov A.K., Tashev A.A.	Investigation of the thermomechanical state of the rod under the influence of lateral heat exchange and local temperatures at the ends	7
Durmagambetov A.A.	Reduction of modern problems of mathematics to the classical Riemann-Poincaré-Hilbert problem	16
Assanova A.T., Bakirova E.A., Kadirbayeva Z.M.	Computational methods for solving of problems with parameter for system of integro-differential equations (Thesis)	36
Dzalilov Z., Kalizhanova A., Kozhakhmet B., Iskakova M.	Information and imaging technologies for learning brain functions	38
Iskakova M.T., Kalizhanova A.Y., Togzhanova K.O., Nabiyeva G.S., Aitkulov Zh.S., Amanzholova K.Y.	Computer aided design systems using solid-state modeling	46
Jenaliyev M., Ramazanov M., Yergaliyev M.	On the coefficient inverse problem of heat conduction in a degenerating domain	52
Khutoretskii A.B., Bredikhin S.V.	A greedy algorithm for allocating indivisible jobs in a multiprocessor system	71

Содержание

Syzdykov M.	Finite automata in advanced problems	75
Wójcik W., Kashaganova G.B., Kalizhanova A.U., Amirgaliyeva S.N., Kisala P., Kartbayev T.S., Doszhanova A.A., Iskakova M.T.	Influence of temperature at fiber bragg gratings' spectral characteristics	82
Алимхан К., Мамырбаев О.Ж., Тасболатұлы Н., Аманжолова А.А., Боромбаева А.Б.	Анықталмаған сызықтық емес жүйелердің шығыс мәліметтерін кері байланыс күйі арқылы бақылау	95
Алдибеков Т.М.	Об асимптотическом поведении решении одного дифференциального уравнения	106
Баракнин В.Б., Кучин Я.И., Мухамедиев Р.И.	К вопросу о постановке задачи выявления фейковых новостей и алгоритмах их мониторинга	113
Вуйцик В., Амиргалиева С.Н., Калижанова А.У., Кашаганова Г.Б., Кисала П., Муратханова Т., Оразбеков Ж., Ахметов С.С.	Математическое моделирование и оптимизация параметров волоконно-оптических датчиков для измерения температуры	118
Жуматов С.С.	Абсолютная устойчивость программного многообразия основной системы управления с разрывными нелинейностями	130
Кизбаев А.П., Каржаубаев К.К., Жакебаев Д.Б.	Моделирование динамики крупномасштабного термика методом LBM	139

Мурзабеков З.Н., Мирзахмедова Г.А.	Оптимальная стабилизация одной нелинейной системы экономической модели кластера	154
Тлеубергенов М.И., Василина Г.К.	О построении множества функций сравнения программного движения в вероятностной постановке	164
Утепбергенов И.Т., Калижанова А.У., Юсупова Г.М., Аннабаев А.С., Кутгыбаева А.Е., Арсланова С.З., Кожасбаева А.	Методы моделирования изменения спектров пропускания и отражения для волоконной брэгговской решетки	169
Яворский В.В., Чванова А.О., Сайдрахимов Н.Б.	Определение оптимальной иерархии частично упорядоченного множества	181

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

Bissarinov B.Zh.	Big Data network analysis using collectively cluster method	187
Shangitbaev Z.K., Arslanov M.Z., Mustafin S.A., Naizabayeva L.K.	Credit risk assessment and modeling methods using recognition algorithms based on calculation of estimates	192
Tkachev K.V., Volzhankina K.A., Sokolova O.D.	On a problem of the optimal placement of monitoring devices in networks with mobile objects (Thesis)	198

Содержание

Калижанова А.У., Набиева Г.С., Ахметов С.С.	Есептеу кешендерінің түйіндеріне қолданбалы және деректер базасын үлестірудің жеке есептері	199
Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т.	Анализ изменчивости времени с использованием больших данных мегаполиса	207
Бобров Л.К., Медянкина И.П., Тойбаева Ш.Д., Исабекова Л.С.	Инновационное качество с новыми инновационными инструментами	213
Ергалиев Е., Кайрбеков А., Кучин Я., Мухамедиев Р., Сымагулов А.	NLP as SaaS	220
Ермеков Ж.С., Мансурова М.Е.	Архитектура отказоустойчивого хранилища текстовых данных	231
Есеркепова И.Б., Юничева Н.Р., Нурсеитов Д.Б., Бостанбеков К., Гаврук С.В., Джамалов Д.К., Алимова А.Н.	Создание архива данных ERA-Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) и верификация данных	236
Ибрагимов Б.Г., Исаев А.М., Ибрагимов Р.Ф.	Исследование эффективности мультисервисных сетей связи на базе архитектурной концепции будущих сетей с использованием технологий SDN/NFV	242
Искаков К.Т., Кусаинова А.Т., Токсеит Д.К., Шолпанбаев Б.Б.	Алгоритм определения геоэлектрического разреза инженерно-техническими приемами	249

Содержание

Кубеков Б.С., Жаксыбаева Н.Н., Науменко В.В., Утегенова А.У., Аленова Р.А.	Проектно-компетентностная парадигма представления знаний трехуровневой системы инженерного образования	255
Кунелбаев М.М., Мерембаев Т., Орманов Т.А., Иржанова А.А.	Расчет энергетического баланса плоского солнечного коллектора в выбранном регионе	270
Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З.	Применение геоинформационных систем для решения задач оценки наводнений	278
Нуржанов Ч., Найзабаева Л., Pidlisnyuk V., Сатымбеков М.	Регрессионная модель изменчивости коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов растением в зависимости от факторов окружающей среды	285
Нұрболат Ж., Козбакова А.Х.	Применение концептуальных графов при полнотекстовом поиске	291
Самигулина Г.А., Масимканова Ж.А.	Прогнозирование технического состояния промышленного оборудования на основе модифицированных алгоритмов роя частиц и иммунносетевого моделирования	296
Сонькин М.А., Яворский В.В., Чванова А.О., Байдикова Н.В.	Интерактивная геоинформационная система предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций	300
Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Айтмагамбетов А.З.	Исследование построения архитектуры сети 5G для бизнес-модели виртуального оператора высокого уровня	307
Хайретдинов М.С., Караваев Д.А., Якименко А.А.	Восстановление скоростных моделей 2D и 3D сред в задачах мониторинга зон подземных ядерных взрывов	318
Чванова А.О., Байдикова Н.В., Касымова Д.Т.	Среда GitHub как платформа для обучения	328

Содержание

Юсупов М.	Анализ тональности коротких текстовых сообщений на русском языке с использованием алгоритмов машинного обучения	334
Rodionov A.S.	On calculation of maximum flows between all pairs of nodes in a non-oriented graph	339
СОДЕРЖАНИЕ		346

МАТЕРИАЛЫ
III Международной научной конференции
«Информатика и прикладная математика»,
посвященная 80-летию юбилею
профессора Бияшева Р.Г.
и 70-летию профессора Айдарханова М.Б.

26-29 сентября 2018 года, Алматы, Казахстан

Часть 1

Под редакцией М.Н. Калимолдаева

Компьютерная верстка
А.А. Кулемзин

Подписано в печать 06.09.2018 г. Формат А4
Печать цифровая. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 20,8.
Тираж 300 экз. Заказ № 006604.
Отпечатано в типографии НЦ ГНТЭ.
Алматы, ул. Богенбай батыра, 221