

МИИГАиК
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ



TURAN
30
TURAN
UNIVERSITY



IEEE
*Advancing Technology
for Humanity*



МАТЕРИАЛЫ

XX Международной Азиатской школы-семинара
ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ



Алматы
2024



МАТЕРИАЛЫ

XX Международной Азиатской школы-семинара

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК
(Республика Казахстан, г. Алматы),
Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Республика Казахстан,
г. Алматы), Университет «Туран»,
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(Россия, г. Новосибирск),
Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)
(Россия, г. Москва),
Ургенчский филиал Ташкентского университета информационных технологий
(Республика Узбекистан, г. Ургенч),
Кыргызский национальный университет имени Жусупа Баласагына
(Кыргызская Республика, г. Бишкек)
Университет Рази, кафедра математики (Иран, г. Керманшах)
Игдирский университет, кафедра математики (Турция, г. Игдир)

При поддержке
Сибирской Российской Секции R8 IEEE
(Россия, г. Новосибирск)

19 июля – 30 июля 2024 г.

Кыргызская Республика
оз. Иссык-Куль
пансионат «Ак Бермет»

Алматы
2024

УДК 004.4
ББК 32.973.202
П 78

Главный редактор:

академик НАН РК, доктор физико-математических наук, профессор
Калимолдаев М.Н.

Ответственные редакторы:

ученый секретарь ИИВТ КН МНВО РК, PhD **Усатова О.А.**
старший научный сотрудник ИИВТ КН МНВО РК, PhD **Зиятбекова Г.З.**

П78 Проблемы оптимизации сложных систем: Мат. XX Межд. Азиат. школы-семинара (19-30 июля 2024 г.). – Алматы, 2024, – 262 с.

ISBN 978-601-228-472-0

В сборнике представлены материалы XX Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем».

В сборнике опубликованы доклады, представленные учеными от Республики Казахстан, Российской Федерации, Кыргызской Республики, Республики Узбекистан 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 004.4
ББК 32.973.202

ISBN 978-601-228-472-0

© Институт информационных и
вычислительных технологий
КН МНВО РК, 2024

Наблюдательный комитет

Марченко М.А., профессор РАН, Россия

Программный комитет

Председатель программного комитета:

Калимолдаев М.Н., академик НАН РК, Казахстан

Сопредседатели:

- Айтжанова Ж.Н., д.э.н, профессор, Казахстан
- Матерухин А.В., д.т.н, профессор, Россия
- Разакова Д.И., PhD, ассоциированный профессор, Казахстан
- Родионов А.С., д.т.н, профессор, Россия
- Исмаилов Б.И., д.т.н., профессор, Кыргызская Республика

Секретарь организационного комитета:

- Мукаддас Аршидинова, Казахстан

Члены Организационного комитета:

Галымкаир Мутанов, Казахстан
Вальдемар Войцик, Польша
Сергей Анцыз, Россия
Майрамкан Асанкулова, Кыргызстан
Мактагали Бектемесов, Казахстан
Эдуард Гимади, Россия
Антон Еремеев, Россия
Игорь Ковалев, Россия
Владимир Барахнин, Россия
Казизат Искаков, Казахстан
Гайрат Ишанходжаев, Узбекистан
Валерий Канев, Россия
Юрий Кочетов, Россия
Андрей Ляхов, Россия
Виктор Малышкин, Россия
Шынар Мусиралиева, Казахстан
Джанна Алимкулова, Казахстан
Микеле Пагано, Италия
Александр Плясунов, Россия
Алексей Портнов, Россия
Александр Стрекаловский, Россия
Марат Хайретдинов, Россия
Владимир Шахов, Южная Корея
Гулжигит Токтошов, Кыргызстан
Елман Хазар, Турция
Шукруллох Исмоилов, Узбекистан
Фирнафас Юсупов, Узбекистан
Отабек Хужаев, Узбекистан
Тимур Худайбергенов, Узбекистан
Едилхан Амиргалиев, Казахстан
Салтанат Амиргалиева, Казахстан

Кунболат Алгазы, Казахстан
Кайрат Сакан, Казахстан
Енлик Бегимбаева, Казахстан
Бауржан Бельгибаев, Казахстан
Гульнур Тюлепбердинова, Казахстан
Гульшат Амирханова, Казахстан
Бекжан Торобеков, Кыргызстан
Алия Калижанова, Казахстан
Айнур Козбакова, Казахстан
Кайрат Кошеков, Казахстан
Галымкаир Мутанов, Казахстан
Талгат Мазаков, Казахстан
Рустам Мусабаев, Казахстан
Сауле Тусупова, Казахстан
Лаура Байтенова, Казахстан
Ольга Киселева, Казахстан
Анар Утегенова, Казахстан
Алымжан Толеу, Казахстан
Муваширхан Дженалиев, Казахстан
Жалаладин Галбаев, Кыргызстан
Зарипбек Айдарбеков, Кыргызстан
Омурбек Токоев, Кыргызстан
Нуркул Мурзакулов, Кыргызстан
Нурсулу Капалова, Казахстан
Максат Ахметжанов, Казахстан
Амантур Рыспаев, Кыргызстан
Павел Панков, Кыргызстан

Организационный комитет

Сопредседатели:

- Алексей Родионов, Россия
- Гульзат Зиятбекова, Казахстан
- Андрей Матерухин, Россия
- Ольга Усатова, Казахстан

Секретарь организационного комитета:

- Мукаддас Аршидинова, Казахстан

Члены Организационного комитета:

Ткачев К.В. (Россия), Трофимова Л.В. (Россия), Шахов В.В. (Республика Корея), Юргенсон А.Н. (Россия), Азадов И.О. (Узбекистан), Олламов О. (Узбекистан), Гульнар Калиева (Казахстан), Рашит Шахмаев (Казахстан), Асель Джаксылыкова (Казахстан), Азат Меркебаев (Казахстан), Алма Мауленова (Казахстан)

**Приветственное слово участникам
Двадцатой юбилейной Международной Азиатской школы-семинара
«Проблемы оптимизации сложных систем»**

**Уважаемые участники школы-семинара, гости, коллеги, дорогие докторанты,
магистранты и студенты!**

Приветствую Вас и поздравляю с началом работы школы-семинара! В работе Двадцатой юбилейной Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» принимают участие видные ученые из ближнего и дальнего зарубежья, отечественные ученые ведущих ВУЗов РК и научно-исследовательских институтов. К сожалению, из-за геополитической ситуации в мире, конференция будет проводиться в оффлайн и онлайн-режиме.

Двадцатая азиатская школа-семинар посвящена 90-летию Казахского национального университета имени аль-Фараби и 70-летию известного ученого, доктора технических наук, профессора Родионова Алексея Сергеевича!

Этот праздник является важным событием не только для университетов и научно-исследовательских институтов, но и для всех стран, принимающих участие в мероприятии, а также тысяч научных работников, проживающих в десятках странах мира.

Проведение нашей ежегодной Международной Азиатской школы-семинара стало хорошей традицией. С каждым годом растет число участников конференции, повышается качество их выступлений и публикаций. Традиционно в работе конференций участвуют ученые и специалисты из России, Казахстана, Киргизии, Узбекистана, США, Украины, Польши, Турции, Италии, Малайзии, Ирана и других стран. Их заинтересованное участие придает нашему мероприятию международное измерение. *Целью проведения этого мероприятия является объединение научных исследований российских и азиатских (прежде всего стран СНГ) ученых, обмен опытом по ряду проблем современной науки, а также передача этого опыта молодым научным сотрудникам, аспирантам и студентам старших курсов.* Нарращивание потенциала отечественной науки, эффективное использование результатов исследований и ускоренное внедрение их в практику – важнейшие приоритеты государственной политики. Особенно важно, что в эту работу включены талантливые студенты и молодые ученые, призванные определять не только настоящее, но и будущее казахстанской и мировой науки, всего нашего общества. Нашими партнерами и организаторами этого мероприятия являются Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК (Республика Казахстан, г.Алматы), Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Республика Казахстан, г.Алматы), Университет «Туран», Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Россия, г.Новосибирск), Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) (Россия, г.Москва), Ургенчский филиал Ташкентского университета информационных технологий (Республика Узбекистан, г.Ургенч), Кыргызский национальный университет имени Жусупа Баласагына (Кыргызская Республика, г.Бишкек) Университет Рази, кафедра математики (Иран, г.Керманшах) Игдирский университет, кафедра математики (Турция, г.Игдир). При поддержке Сибирской Российской Секции R8 IEEE (Россия, г.Новосибирск).

Надеюсь, полученные результаты будут полезны всем участникам, в первую очередь позволит развивать и совершенствовать систему подготовки специалистов для экономики наших стран, а предложенные рекомендации действительно найдут свое применение в практической деятельности. Уверен, проводимая школа-семинар не станет рядовым событием, пройдет в духе творчества, станет площадкой для обсуждения, действительно,

актуальных и важных проблем и поможет найти пути их решения. Желаю всем участникам школы-семинара и гостям плодотворных дискуссий и новых достижений!

Я хочу пожелать всем сегодня плодотворной работы и, чтобы идеи, которые высказывались, затем претворялись в жизнь. Это чрезвычайно важно не только для ученых, которые уже состоялись, но еще более важно для, студентов, магистрантов, докторантов и вообще для научной молодежи.

Выражаю благодарность всем участникам Двадцатой юбилейной Международной Азиатской школы-семинара и гостям, которые нашли время, чтобы принять участие в конференции. Желаю плодотворных дискуссий и новых достижений! Желаю всем Вам крепкого здоровья, интересной работы и полезных деловых контактов!

**Председатель Программного комитета,
академик НАН РК**



М.Н. Калимолдаев

СЕКЦИЯ 1

Үлкен деректерді талдаудағы және үлгіні танудағы
математикалық модельдер және оңтайландыру мәселелері

Математические модели и оптимизационные задачи
в анализе больших данных и распознавания образов

Mathematical models and optimization problems
in big data analysis and pattern recognition

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ СО СВОБОДНЫМИ (НЕИЗВЕСТНЫМИ) ГРАНИЦАМИ

К.К. Байжасарова¹, М.Ж. Жилкишиев², С.Т. Мухамбетжанов³

¹Атырауский прикаспийский современный колледж

²АО «Ембаунагаз»

³Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова

УДК 532.685

Аннотация. В настоящей работе предлагается метод численного решения одномерных по пространственным переменным задачи теории фильтрации со свободными (неизвестными) границами, позволяющий с произвольным и переменным числом фаз. Алгоритм решения основан на применении современных методов вычислительной математики. Расчеты проведены по однородной схеме и с реальными данными конкретного месторождения западного региона Республики Казахстан, что делает метод универсальным и позволяет отнести его к классу методов сквозного счета. На основе модели Баклея – Леверетта ведется аккуратное слежение за положением границ между вытесняющим и вытесняемым агентами, как в методах с выделением фронтов, что делает возможным решение задачи относительно математической модели Баклея – Леверетта с высокой точностью, характерной для методов этого типа.

Ключевые слова: вытесняемые агенты, поверхностно – активные вещества (ПАВ), гидрофильные и гидрофобные пласты, фазовые проницаемости, технологические параметры, неизотермическая фильтрация, подвижные границы.

Введение

Предложенный в настоящей работе способ численного решения одномерных по пространственной переменной одномерных задач с подвижными границами занимает промежуточное положение между методом с выделением фронтов и методами сквозного счета и обладает некоторыми преимуществами и тех и других методов. Так как позволяет решать задачи с любым числом типов фаз, с произвольным и переменным числом движущихся границ в задачах теории фильтрации со свободными (неизвестными) границами. Метод также применим для решения задач теории фильтрации, в которых подвижными являются и внешние границы области, для задач с узкими фазами, когда коэффициенты проницаемости в фазах отличаются во много раз, а также для задач неизотермической фильтрации со свободными (неизвестными) границами. При этом считается, что предельные технологические параметры нефтяного пласта непостоянны. Разрешимость и свойства решений рассматриваемой модели исследованы в работах [1-4].

Несмотря на различие породы (гидрофильна или гидрофобна), эти случаи для одномерного процесса могут быть рассмотрены в рамках единого подхода.

Допустим, что жидкости несжимаемы, и между растворенной в воде и нефти и адсорбированной пористой средой примесью локально выполняются условия термодинамического равновесия. Тогда имеем систему уравнений:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{u}_1 = 0, \quad \operatorname{div} (\vec{u}_1 + \vec{u}_2) = 0, \quad \vec{u} = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 \quad (1)$$

$$\frac{\partial[mc_1s+m(1-s)c_2+a]}{\partial t} + \operatorname{div}(c_1\vec{u}_1 + c_2\vec{u}_2) + \operatorname{div}\vec{q} = 0, \quad (2)$$

$$c_1 = c, \quad c_2 = \phi(c), \quad a = a(c, s), \quad \vec{q} = -D \cdot \nabla c, \quad D = D(c, s) \quad (3)$$

$$\vec{u}_i = -\frac{k}{\mu_i} f_i(c, s) \cdot \nabla p_i, \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

$$p_2 - p_1 = P_c(c, s) \quad (5)$$

Индекс 1 - относится к воде, а 2- к нефти. Далее, рассмотрим количество dQ в единице объема. Полный подвод тепла вследствие теплопроводности и конвекции в элемент за промежуток времени dt есть:

$$dQ = dt \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} - Q_k) \quad (6)$$

где T – температура, λ - коэффициент теплопроводности, Q_k - конвективный поток тепла, который определяется следующим соотношением (при нулевой суммарной скорости фильтрации и опуская индекс):

$$Q_k = (C_1 - C_2) \cdot T \cdot V, \quad (7)$$

где C_1 и C_2 – объемные теплоемкости соответственно вытесняющей и вытесняемой фазы.

Если C_3 – объемная теплоемкость материала пористого тела, изменение количества тепла в каждой фазе выражаются соответственно:

$$\begin{aligned} dQ_1 &= m \cdot d(sC_1T), \\ dQ_2 &= m \cdot d[(1-s)C_2T], \\ dQ_3 &= (1-m) \cdot d(C_3T). \end{aligned} \quad (8)$$

Следовательно, из соотношений (6) – (8) получим уравнение баланса тепла

$$\frac{\partial}{\partial t} [T(s+b)] + h \cdot \frac{\partial}{\partial x} (Tu_1) = \frac{\partial}{\partial x} (\aleph \cdot \frac{\partial T}{\partial x})$$

где

$$b = \frac{mC_2+(1-m)C_3}{m(C_1-C_2)}; \quad \aleph = \frac{\lambda}{m(C_1-C_2)}; \quad h = \frac{1}{m},$$

(\aleph - температуропроводность).

Считая, что вязкости фаз μ_i , фазовые проницаемости f_i , капиллярное давление P_c и коэффициенты переноса \aleph и D могут зависеть, помимо обычных переменных, от концентрации примеси и температуры:

$$\mu_i = \mu_i(c, T); \quad P_c = P_c(s, c, T); \quad f_i = f_i(s, c, T); \quad \aleph = \aleph(c, T); \quad D = D(c, T) \quad (1.38)$$

уравнения (1), (2) и с учетом зависимостей между коэффициентами образуют основную систему уравнений исследуемого процесса.

Пусть пористая среда, насыщенная нефтью и водой (начальная вод насыщенность s_0), заполняющая полупространство $x>0$, в момент времени $t=0$ во входном сечении $x=0$ приводится в соприкосновение с водным раствором активной примеси, температура которого, вообще говоря, отлична от пластовой.

Возникающее нарушение капиллярного равновесия приводит к продвижению воды внутрь пористой среды, против направленному вытеснению нефти и сопутствующему переносу активной примеси и тепла.

Постановка задачи

Задаче о противоточной капиллярной пропитке отвечает одномерное прямолинейно – параллельное движение с нулевой суммарной скоростью фильтрации. Считая, что примесь растворима только в водной фазе ($c_2 = 0$), из приведенных уравнений (1) – (5):

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial \vec{u}_1}{\partial x} = 0, \quad \vec{u} = \vec{u}_1 = -\vec{u}_2 \quad (9)$$

$$\frac{\partial [mcs + a]}{\partial t} + \frac{\partial (c\vec{u}_1)}{\partial x} = \frac{\partial^2 (Dc)}{\partial x^2}, \quad c_1 = c; \quad a = a(c, s),$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [T(s + b)] + h \cdot \frac{\partial}{\partial x} (Tu_1) = \frac{\partial}{\partial x} (\kappa \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) \quad (10)$$

$$\vec{u}_i = -\frac{k}{\mu_i} f_i(c, s) \cdot \frac{\partial p_i}{\partial x}, \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

$$p_2 - p_1 = P_c(c, s) \quad (12)$$

В случае рассмотрения задачи в неизотермических условиях, к системе уравнений (9) – (12) присоединяется уравнение с зависимостями между коэффициентами.

Из соотношений (9), (10) и (11) имеем:

$$u_1 = \frac{k f_1 f_2}{\mu_i f_1 + f_2} \cdot \frac{\partial P_c}{\partial x}, \quad \mu = \mu_2 / \mu_1 \quad (13)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{k f_1 f_2}{m(\mu f_1 + f_2)} \cdot \frac{\partial P_c}{\partial x} \right] = 0. \quad (14)$$

Система уравнений (14), (10) и (1.36), с учетом выше приведенных выражений входящих в уравнения величин, описывает исследуемый процесс.

Если пласт первоначально не возмущён, начальные и граничные условия имеет вид:

$$s(x, 0) = s_0, c(x, 0) = 0, T(x, 0) = 0,$$

$$s(0, t) = s^0, c(0, t) = c^0, T(0, t) = T^0. \quad (15)$$

Численное исследование в автомодельных переменных

С помощью автомодельной переменной $\xi = x \cdot (\alpha^2 t)^{-1/2}$, $\alpha^2 = k\Pi/\mu_1$, а также переобозначив решение исходной задачи через $s = s(\xi)$, $c = c(\xi)$, $T = T(\xi)$, придем к решению следующих систем обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{d\xi} \left(F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} \right) + \frac{\xi}{2} \cdot \frac{ds}{d\xi} = 0, \quad P = P_c / \Pi, \\
& \frac{d}{d\xi} \left(\frac{D}{m\alpha^2} \cdot \frac{dc}{d\xi} \right) + \frac{d}{d\xi} \left(c \cdot F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} \right) + \frac{\xi}{2} \cdot \frac{d(cs + a/m)}{d\xi} = 0, \\
& \frac{d}{d\xi} \left(\frac{\aleph}{\alpha^2} \cdot \frac{dT}{d\xi} \right) + \frac{d}{d\xi} \left(h \cdot T \cdot F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} \right) + \frac{\xi}{2} \cdot \frac{d(T(s + b))}{d\xi} = 0, \\
& F = -f_1 f_2 / m(\mu f_1 + f_2), \tag{16}
\end{aligned}$$

где Π – характерное значение капиллярного давления.

Краевые условия имеют вид:

$$\begin{aligned}
& s(\infty) = s_0, c(\infty) = 0, T(\infty) = 0, \\
& s(0) = s^0, c(0) = c^0, T(0) = T^0. \tag{17}
\end{aligned}$$

Систему уравнений (17), используя первое уравнение, можно упростить. Учитывая, что в ряде случаев коэффициент диффузии D мал по сравнению с коэффициентами температуропроводности и капиллярного переноса α^2 , естественно, положить его равным нулю.

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{d\xi} \left(F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} \right) + \frac{\xi}{2} \cdot \frac{ds}{d\xi} = 0, \\
& \left(F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} + \frac{\xi}{2} \cdot s + \frac{a'(c)}{m} \right) \cdot \frac{dc}{d\xi} = 0, \\
& \frac{d}{d\xi} \left(\frac{\aleph}{\alpha^2} \cdot \frac{dT}{d\xi} \right) + \left(F(s, c, T) \cdot \frac{dP}{d\xi} \cdot \frac{dT}{d\xi} \right) + \frac{\xi}{2} \cdot (s + b) \cdot \frac{dT}{d\xi} = 0, \\
& \frac{dP}{d\xi} = \frac{\partial P}{\partial s} \cdot \frac{ds}{d\xi} + \frac{\partial P}{\partial c} \cdot \frac{dc}{d\xi} + \frac{\partial P}{\partial T} \cdot \frac{dT}{d\xi}. \tag{18}
\end{aligned}$$

Решение второго уравнения системы (18) при краевых условиях (17) имеет вид ступенчатой функции:

$$c = c^0 \quad (0 \leq \xi \leq \xi_0), \quad c = 0 \quad (\xi > \xi_0).$$

Функции $P(\xi)$ и $T(\xi)$ непрерывны, поэтому при $\partial P / \partial c \neq 0$ скачок концентрации сопровождается скачком насыщенности с условиями на скачке:

$$\begin{aligned}
& P^+ = P^-, \quad T^+ = T^-, \quad c^+ = c^0, \quad c^- = 0, \\
& F^+ \cdot \frac{dP^+}{d\xi} - F^- \cdot \frac{dP^-}{d\xi} + \frac{\xi_0}{2} \cdot (s^+ - s^-) = 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c^0 \cdot F^+ \cdot \frac{dP^+}{d\xi} + \frac{\xi_0}{2} \cdot c^0 \cdot s^+ + \frac{a(c^0)}{m} &= 0, \\
\aleph \cdot \frac{dT^+}{d\xi} + T^+ \cdot F^+ \cdot \frac{dP^+}{d\xi} - \aleph \cdot \frac{dT^-}{d\xi} - \\
-T^- \cdot F^- \cdot \frac{dP^-}{d\xi} + \frac{\xi_0}{2} \cdot T \cdot (s^+ - s^-) &= 0
\end{aligned} \tag{19}$$

В случае, если P не зависит от s , из первого соотношения (19) следует, что на скачке концентрации s непрерывно (подтверждающие результаты приводятся ниже), а разрыв терпит производная $ds/d\xi$.

Модельные функции, встречающиеся в расчетах, и значения некоторых величин

В расчете использованы модельные зависимости для $F(s,c,T)$ и $P(s,c,T)$, причем фазовые проницаемости и капиллярное давление выбраны в виде:

$$f_1 = \left(\frac{s-0,2}{0,8}\right)^3 \left(\frac{1}{a(c)+1}\right)^\beta, \quad f_2 = \left(\frac{0,8-s}{0,6}\right)^3, \tag{20}$$

$$a(c) = \Gamma c, \quad P_c = \Pi / (s - 0,2)^2.$$

Вязкость воды считалась постоянной, вязкость нефти – функцией от температуры:

$$\mu_1 = \mu_1^0; \quad \mu_2 = \mu_2^0 \cdot \exp(-\gamma \cdot T) \tag{21}$$

где μ_1^0, μ_2^0 и γ постоянные. В расчетах значения постоянных были следующими:

$K=1$ дарси, $m=0,2$; $\Pi=1$; $\mu_1^0 = 1$ сПз; $D=10^{-5} \text{см}^2/\text{с}$, а объемные теплоемкости и коэффициент теплопроводности:

$C_1 = 1000 \text{ккал}/\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$; $C_2 = 300 \text{ккал}/\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$; $C_1 = 750 \text{ккал}/\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $\lambda = 36 \text{ккал}/\text{м} \cdot \text{сут} \text{ } ^\circ\text{C}$. Значения величин $\beta, \mu_2^0, l, \gamma, \mu_2$ в расчетах варьировались.

Методика численного исследования

Система уравнений (18) решается методом установления по явной разностной схеме. Сетка по пространственной переменной ξ равномерная, а временной шаг τ - выбирается из условия устойчивости конечной – разностной схемы. Конечно – разностная система уравнений, аппроксимирующая (18) имеет вид:

$$\begin{aligned}
s_i^{j+1} &= s_i^j + 0,5 \cdot (\Delta\tau/\Delta\xi) \cdot \xi_i \cdot (s_i^j - s_{i-1}^j) + K_i^j \cdot \Delta\tau/\Delta\xi, \\
c_i^{j+1} &= c_i^j + u_i^j \cdot M_i^j \cdot (\Delta\tau/\Delta\xi), \\
T_i^{j+1} &= T_i^j + \Delta\tau/(\Delta\xi)^2 \cdot \frac{\aleph}{a^2} (T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\Delta\tau}{\Delta\xi} \cdot \left[0,5 \cdot \xi_i (s_i^j + b) + F_i^j \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_i^j \right] * (T_i^j - T_{i-1}^j) + \\
& + 0,5 \cdot \xi_i \cdot (\Delta\tau/\Delta\xi) \cdot \left[(s+b)_{i+1/2}^j \cdot T_i^j - (s+b)_{i-1/2}^j \cdot T_{i-1}^j \right], \tag{22}
\end{aligned}$$

$$K_i^j = F_{i+1}^j \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_i^j - F_i^j \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_{i-1}^j,$$

$$U_i^j = F_i^j \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_i^j + 0,5 \cdot \xi_i^j \cdot s_i^j + \left(\frac{\partial a}{\partial c} \right)_i^j \cdot (c_i^j - c_{i-1}^j) / (m \cdot \Delta\xi),$$

$$M_i^j = \begin{cases} c_i^j - c_{i-1}^j & \text{при } U_i^j < 0, \\ c_{i+1}^j - c_i^j & \text{при } U_i^j \geq 0, \end{cases}$$

$$F_i^j = F \left(\frac{s_i^j - s_{i-1}^j}{2}, \frac{c_i^j - c_{i-1}^j}{2}, \frac{T_i^j - T_{i-1}^j}{2} \right).$$

В общем случае, когда на капиллярное давление влияет активная примесь, аппроксимируется выражением:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_i^j = \left(\frac{\partial P}{\partial s} \right)_i^j \cdot \frac{s_i^j - s_{i-1}^j}{\Delta\xi} + \left(\frac{\partial P}{\partial c} \right)_i^j \cdot \frac{c_i^j - c_{i-1}^j}{\Delta\xi}. \tag{23}$$

Значения величин $\partial a/\partial c$, $\partial P/\partial s$, $\partial P/\partial c$ и F в точках s_i^j и c_i^j находятся аналитически из заданных модельных зависимостей.

Краевые условия аппроксимируется в виде:

$$s_0^j = s^0, c_0^j = c^0, T_0^j = T^0,$$

$$\mathbf{s}_N^j = \mathbf{s}_0, \mathbf{c}_N^j = \mathbf{0}, \mathbf{T}_N^j = \mathbf{0}. \tag{24}$$

С целью уменьшения «размазывания» фронтов концентрации из-за применения явной уголковой схемы, проводились методические расчеты с разными шагами по пространственной переменной. Расчеты с 50, 100, 200 и 400 узлами, и показали достаточность выбора 100 узлов.

Критерием установления являлось условие:

$$\max\{|s_i^{j+1} - s_i^j|, |c_i^{j+1} - c_i^j|, |T_i^{j+1} - T_i^j|\} \leq \Delta\tau \cdot \varepsilon$$

$$\begin{aligned}
& \mathbf{1} \leq \mathbf{i} \leq \mathbf{N} - \mathbf{1} \\
& \tag{25}
\end{aligned}$$

В расчетах значение $\varepsilon = 0.001$.

Время установления для уравнений относительно насыщенности и температуры на много меньше, чем для уравнений концентрации. С целью экономии машинного времени критерий (25) можно ставить в виде:

$$\max_{1 \leq i \leq N-1} \left\{ \frac{|s_i^{j+1} - s_i^j|}{\Delta \tau}, \frac{|c_i^{j+1} - c_i^j|}{\Delta \tau}, \frac{|T_i^{j+1} - T_i^j|}{\Delta \tau} \right\} \leq \varepsilon. \quad (26)$$

Достигнув такой точности, можно просчитать несколько слоев только уравнение концентрации до выполнения условия:

$$\max_{1 \leq i \leq N-1} |c_i^{j+1} - c_i^j| \leq \varepsilon \cdot \Delta \tau \quad (27)$$

При этом значения s_i^j и T_i^j , удовлетворяющие условию (26), считаются фиксированными. После этого пересчитав уравнения s, c и T из (22), можно добиться выполнения критерия (27).

Условие устойчивости выбранной разностной схемы:

$$0 \leq \varepsilon_1 = 2 \cdot \max_i \left[F_i^j \cdot \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial \xi} \right)_i^j}{(\Delta \xi)} + \max_i \xi_i \right] \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta \xi} < 1,$$

$$0 \leq \varepsilon_2 = \left| \frac{2D}{m\alpha^2(\Delta \xi)} + \max_i u_i^j \right| \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta \xi} < 1,$$

$$0 \leq \varepsilon_3 = \left[2 \frac{\kappa}{\alpha^2(\Delta \xi)} + \min_i \left[0,5 \cdot \xi_i \cdot (s_i^j + b) + F_i^j \cdot \frac{s_i^j - s_{i-1}^j}{\Delta \xi} \right] \right] \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta \xi} < 1. \quad (28)$$

Значение временного шага $\Delta \tau$ для расчета j+1 –го слоя, выбираемые из условия:

$$\frac{\Delta \tau}{\Delta \xi} \cdot \max\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3\} = 0,9$$

обеспечивает устойчивость разностной схемы и оставляет схему сеточно-характеристической. Ниже приводятся некоторые результаты расчетов, когда капиллярное давление задано в виде:

$$P = (P_1 + P_2 \cdot c) / (s - 0,2)^2 \quad (29)$$

При капиллярном давлении, не зависящем от концентрации ($P_1 = 1$ и $P_2 = 0$), скачок концентрации сопровождается скачком $ds/d\xi$, а при $P_1 = 0,5$ и $P_2 = -0,5$ скачок концентрации сопровождается скачком насыщенности s.

При изучении характера кривой насыщенности в зависимости от концентрации примеси (первые два уравнения из системы (18)) для вязкости вытесняемой жидкости μ_2 принимались различные постоянные значения. Результаты расчетов приведены на рисунках 1 - 6.

Изменение границы относительно водонасыщенности и концентрации

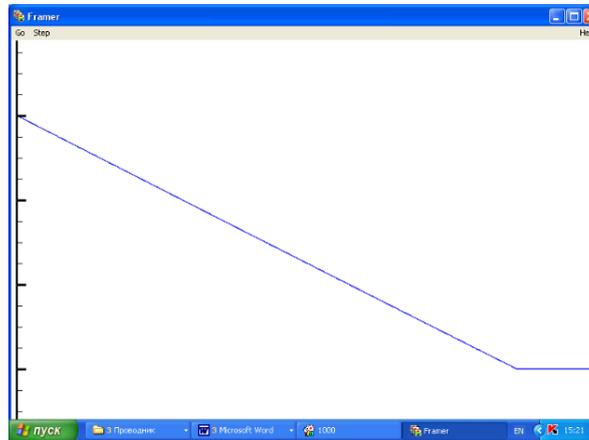


Рисунок 1 - Фронт водонасыщенности

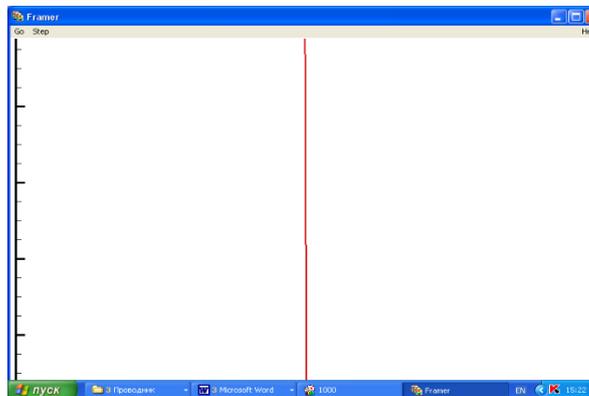


Рисунок 2 - Фронт изменения концентрации

Изменение границы относительно давления

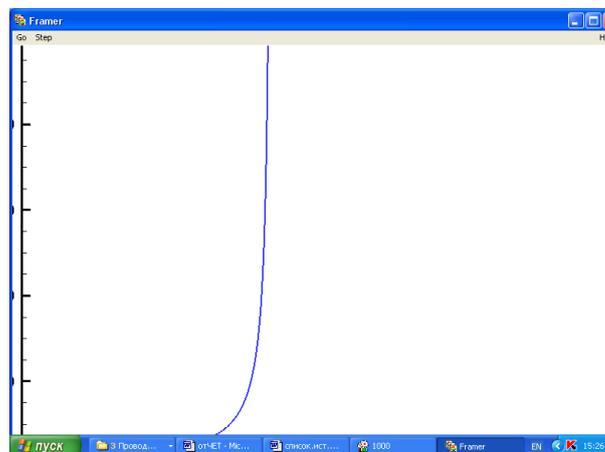


Рисунок 3 - В начале расчета

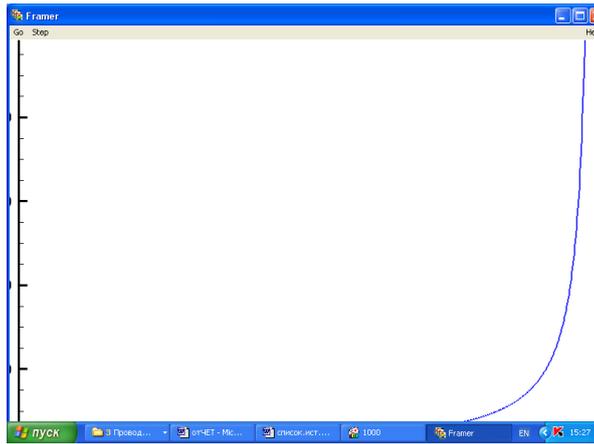


Рисунок 4 - В конце расчета

Изменение границы относительно температуры по времени

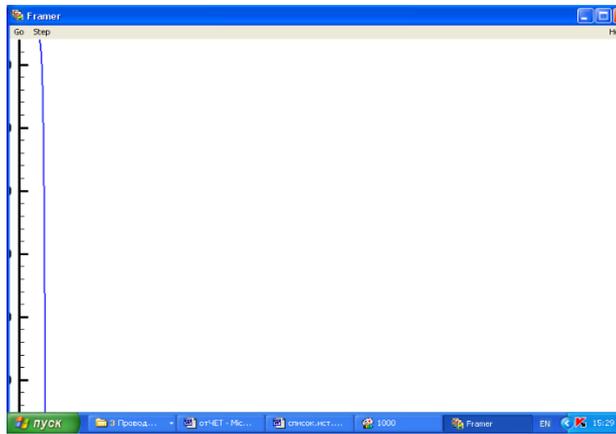


Рисунок 5 - В начале расчета

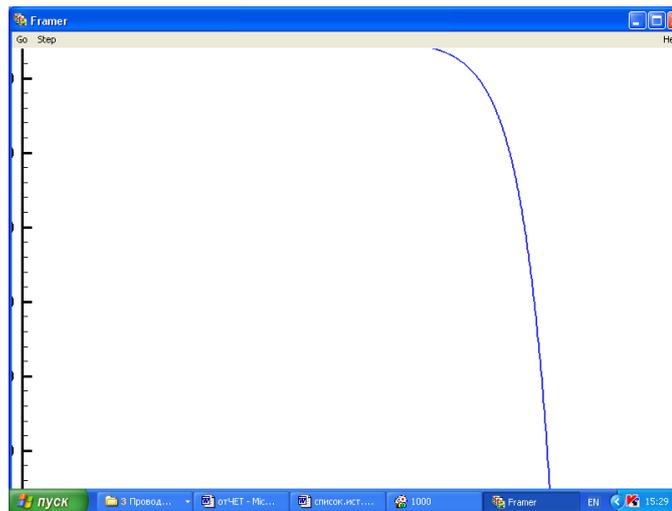


Рисунок 6- В конце расчета

Заключение

Полученные в работе численные эксперименты показывают, что метод не уступает по точности известным методам и, в частности, намного точнее методов сквозного счета. Капиллярная пропитка играет важную роль в извлечении нефти из слоисто–неоднородных и трещиновато пористых пластов. Благодаря капиллярной пропитке вода проникает в менее проницаемые элементы пласта, в которых нефть остается невытесненной при фронтальном заводнении. Такой механизм предполагает, что вода обладает лучшей смачиваемостью, чем нефть (т.е. породы являются гидрофильными), и потому в условиях капиллярного равновесия преимущественно заполняет участки с мелкими порами. В ряде случаев породы оказываются гидрофобизированными в результате адсорбции на их поверхности активных компонентов нефти, и процесс капиллярной пропитки не может идти, что приводит к снижению нефтеотдачи.

Однако из средств повышения нефтеотдачи в таких условиях является добавление к закачиваемой воде поверхностно – активных веществ (ПАВ), которые, адсорбируясь на поверхности пористого скелета, гидрофилизуют ее. Поскольку процесс гидрофиллизации поверхности должен предшествовать пропитке, гидрофилизующее ПАВ должно обладать некоторой растворимостью в нефти. Эффективность построенных вычислительных алгоритмов протестирована на реальном месторождении «Восточный Молдабек» Атырауской области и дали ожидаемые результаты при прогнозных расчетах.

Список литературы

- 1 Мухамбетжанов С.Т., Емир Кады оглу А.Н. Приближенные методы решения неизоотермической фильтрации несмешивающихся жидкостей // Вестник КазНУ. Сер. мат., мех., инф. - 2006. - №1(48). - С. 66-72.
- 2 Мухамбетжанов С.Т. О некоторых приближенных методах решения задач двухфазной фильтрации // Вестник НИА РК. - 2006. - №3 (21). - С. 28-35.
- 3 Мухамбетжанов С.Т. О корректности одной математической модели неравновесной фильтрации // Доклады НАН РК. – 2006. - №6. – С.24-28.
- 4 Bektemesov M.A., Mukhametzhanov S.T. Inverse Problems of the a filtration // ABSTRACTS of the International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics 2003: 18-21 February 2003, Nagano City, JAPAN. - Nagano City, 2003. - P. 151 – 152.

*Калима Кабидетовна Байжасарова – преподаватель
«Атырауский прикаспийский современный колледж»,
kbayzhasarova@mail.ru.*

*Малик Жолдаскалиевич Жилкишиев – начальник
Департамента добычи АО «Ембамунайгаз»
M.Zhilkishiev@emg.kmgerp.kz.
Салтанбек Талапеденович Мухамбетжанов – ГНС
Института механики и машиноведения имени
У.А. Джолдасбекова, д.ф.-м.н., член – корр. МИА.*

СЕКЦИЯ 2

Есептеулерді ұйымдастырудағы оңтайландыру міндеттері

Задачи оптимизации в организации вычислений

Optimization problems in the organization of computation

СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛА ОПЕРАЦИЙ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СВЯЗНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ГИПЕРГРАФЫ

А.С. Родионов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

УДК 519.1

Аннотация. В статье рассматриваются методы ускорения расчёта и оценки различных показателей надёжности случайных гиперграфов, в которых узлы являются надёжными, а гиперребра могут выходить из строя независимо с заданными вероятностями. Рассматривается вероятность соединения всех узлов (ATR, всетерминальная надёжность). Эта характеристика надёжности хорошо известна для случайных графов, тогда как её исследования для случайных гиперграфов редки. В то же время это имеет большое значение для анализа и оптимизации многих типов современных сетей, таких как беспроводные и социальные сети.

Ключевые слова: случайный гиперграф, надёжность, связность.

Введение

Случайные графы (СГ) с надёжными вершинами и ненадёжными ребрами как модель сетей различного назначения изучаются многими авторами на протяжении нескольких десятилетий [1-6], получено множество теоретических результатов, разработаны многочисленные алгоритмы анализа и структурной оптимизации.

В то же время случайные гиперграфы (СГГ) во многих случаях являются более адекватной моделью, хорошими примерами являются радио, экономические и социальные сети. Недавняя статья [7] является хорошим примером такого исследования, но в ней рассматриваются только гиперграфы с одинаковой надёжностью ребер и исследуется применение метода Монте-Карло для аппроксимации всетерминальной надёжности (ATR). Некоторые результаты исследований, касающихся СГГ, представлены в [8], но рассматривается только особый тип трехдольных гиперграфов.

В докладе мы исследуем точные методы расчета этого показателя.

Как и в наших работах по показателям надёжности СГ [9-11], мы рассматриваем различные методы расчета ATR.

Мы рассматриваем случай гиперграфов с надёжными узлами и ненадёжными гиперребрами (далее для краткости мы называем их просто ребрами, если характер ребра не надо подчеркнуть специально), которые могут выходить из строя независимо друг от друга. Как и в случае с моделью случайных графов, мы пытаемся найти разные способы уменьшения размерности задачи, то есть возможные редукции и декомпозиции СГГ. Будем считать, что в случае, когда все ребра надёжные, СГГ связан.

При вычислении математических ожиданий функций СГГ, как и в случае рассмотрения СГ, используем определение математического ожидания дискретной случайной величины:

$$E[\mu(HG)] = \sum_{H \in \Xi} P(H) \mu(H), \quad (1)$$

где \mathcal{E} – множество всех возможных реализаций СГГ, а вероятность конкретной реализации H равна произведению вероятностей присутствия рёбер, принадлежащих H и вероятностей отсутствия рёбер, ей не принадлежащих. Далее для простоты знак математического ожидания будем опускать, т.е. использовать просто $\mu(HG)$.

Как и в наших работах по исследованию характеристик случайных графов, в основном при вычислении характеристик СГГ мы используем различные модификации хорошо себя зарекомендовавшего метода факторизации по состоянию произвольного ребра:

$$\mu(HG) = p_e \mu(HG / e) + (1 - p_e) \mu(HG \setminus e), \quad (2)$$

где HG/e – СГГ, в котором ребро e присутствует с вероятностью 1, а $HG \setminus e$ – СГГ, в котором это ребро удалено.

Принятые обозначения

ATR – всетерминальная надежность

$HG(n, m)$ – гиперграф с n вершинами и m гиперребрами (далее ребрами)

$V(e)$ – набор вершин, инцидентных ребру e

$m(e)$ – количество вершин, инцидентных ребру e , $m = |V(e)|$

$d(v)$ – степень вершин v : количество ребер, инцидентных вершине v

$E(v)$ – набор ребер, инцидентных вершине v

$D_c(e)$ – набор вершин степени c , инцидентных ребру e

Определения

Шарнир – узел, удаление которого приводит к отключению ранее подключенной сети; узел, удаление которого приводит к разделению сети на одну или несколько непересекающихся подсетей.

Цепь – набор из двух или более ребер, проходящих через узлы степени два.

Простое ребро – ребро, инцидентное только двум вершинам.

1. Случайный гиперграф и его ATR

В общем случае, у нас есть разделение всех вершин между ребрами и каждая вершина может принадлежать произвольному количеству ребер. Мы называем это количество степенью данной вершины. Отметим, что несколько вершин, инцидентных одному ребру, в общем случае имеют различные степени.

***Правило 1.** Каждое ребро, инцидентное хотя бы одной вершине степени один, должно принадлежать каждой связной реализации СГГ. Это правило очевидно. Его использование позволяет уменьшить количество реализаций СГГ в случае полного перебора, иногда значительно.*

Обозначим как $S(v)$ множество вершин, инцидентных тем же рёбрам, которым инцидентна v :

$$S(v) = \bigcap_{e \in E(v)} V(e)$$

Правило 2. Все вершины в $S(v)$ неразличимы с точки зрения вычисления ATR и могут быть заменены одним объединенным псевдоузлом v^* .

Каждое ребро e может содержать несколько таких псевдовершин, которые с вероятностью p_e соединены этим ребром, но могут быть соединены и путями через другие ребра.

Таким образом, после объединения всех $S(v)$ в псевдоузлы и применении правила 1, мы имеем задачу ATR в случайном гиперграфе меньшей размерности.

Пример приведен на Рис. 1. Здесь рёбра 2 и 4 должны обязательно присутствовать согласно правилу 1. Итоговое значение ATR равно $p_2 p_4 (p_1 + p_2 - p_1 p_2)$.

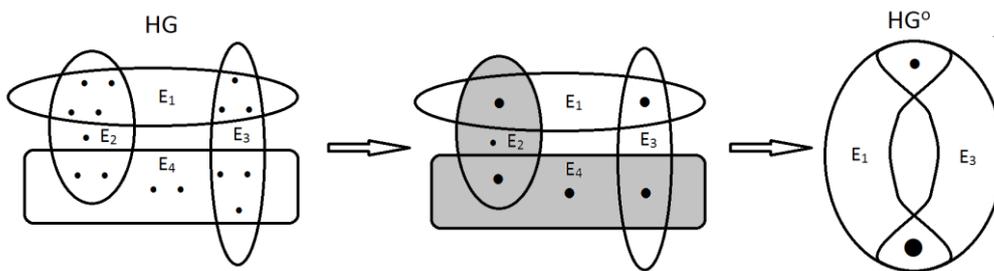


Рис. 1. Редуцирование СГГ использованием правил 1 и 2

В некоторых видах сетей, например, социальных и радиосвязи, возможно перекрытие множеств узлов, что в гиперграфах соответствует перекрытию рёбер. В этом случае, присутствие или отсутствие вложенного ребра, в случае присутствия ребра объемлющего, не имеет никакой роли с точки зрения значения ATR СГГ.

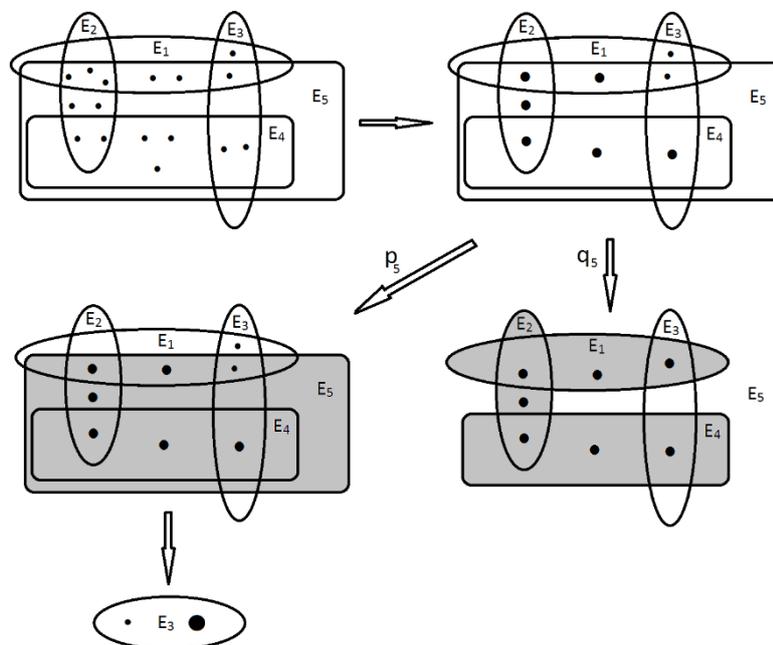


Рис. 2. Рекомендуемый по правилу 3 порядок факторизации

Правило 3. В случае наличия такой пары рёбер e_1 и e_2 , что $V(e_1) \supset V(e_2)$, при выборе ребра для факторизации предпочтение следует отдавать ребру e_1 , поскольку это

сокращает число рассматриваемых вариантов. В случае цепочки вложений, факторизацию следует начинать с самого внешнего ребра.

Пример использования правила приведён на Рис. 2. Предварительно было использовано правило 2. Результирующее значение ATR гиперграфа равно $q_5 + p_5 p_3$.

1.1. Специальные случаи, позволяющие ускорение расчёта ATR

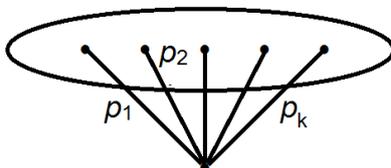


Рис. 3. Гиперребро и вершина

Гиперребро и вершина

Если СГГ состоит из одного гиперребра с k узлами и надёжностью p_0 и вершины, связанной со всеми ними (см. Рис. 3), то имеем очевидное

$$R(HG) = p_0 \left[1 - \prod_{i=1}^k (1 - p_i) \right] + (1 - p_0) \prod_{i=1}^k p_i. \quad (3)$$

Пара гиперрёбер, соединённых простыми рёбрами

Если у нас есть пара гиперрёбер с надёжностью p_1 и p_2 , которые соединены m простыми рёбрами, не образующими дерево и имеющими надёжности p_1, p_2, \dots, p_m , и распределёнными между некоторыми (может быть одно) $k \leq m$ деревьями T_i , каждое из которых имеет $s_i, i=1, \dots, k$ рёбер (см. Рис. 4), то мы имеем следующие возможности:

1. оба гиперребра надёжны;
2. одно гиперребро надёжно, другое нет;
3. оба гиперребра ненадёжны.

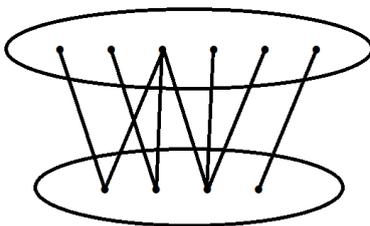


Рис. 4. Пара гиперрёбер, соединённых простыми рёбрами

В первом варианте для связности достаточно существования любого простого ребра, во втором варианте хотя бы одно простое ребро в их связном подмножестве должно быть надёжным, в последнем варианте все простые ребра должны быть надёжными. Таким образом, мы имеем для первого случая:

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + [\rho_1(1-\rho_2) + (1-\rho_1)\rho_2] \prod_{i=1}^k \left[1 - \prod_{e \in T_i} (1-p_e) \right] + \prod_{i=1}^m p_i. \quad (5)$$

Есть два крайних случая: все простые рёбра соединены в дерево и все эти рёбра не пересекаются.

В первом случае мы имеем

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + [\rho_1(1-\rho_2) + (1-\rho_1)\rho_2] \left[1 - \prod_{i=1}^k (1-p_i) \right] + \prod_{i=1}^m p_i, \quad (6)$$

для второго случая

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + (1-\rho_1\rho_2) \prod_{i=1}^m p_i. \quad (7)$$

В общем случае может быть произвольное количество гиперрёбер, которые не смежны между собой, т.е. не имеют общих вершин, а связаны между собой простыми рёбрами. Отметим, что после применения правила 2 в гиперрёбрах нет вершин, которые не были бы связаны с вершинами других гиперрёбер.

В этом случае факторизацию предпочтительней проводить именно по гиперрёбрам, так как удаление такого ребра не разрушает СГГ, но позволяет снизить его размерность за счёт редукции появившихся в результате редукции висячих вершин и/или цепей из простых рёбер, а по линии стягивания получаем одну вершину, соединённую с остальной частью СГГ простыми рёбрами (см. Рис. 5). Тем самым, рано или поздно процесс факторизации приведёт либо к получению СГ из простых рёбер и возможности использования существующих алгоритмов расчёта ATR случайного графа, либо к возможности непосредственного расчёта ATR, как в рассмотренных выше специальных случаях.

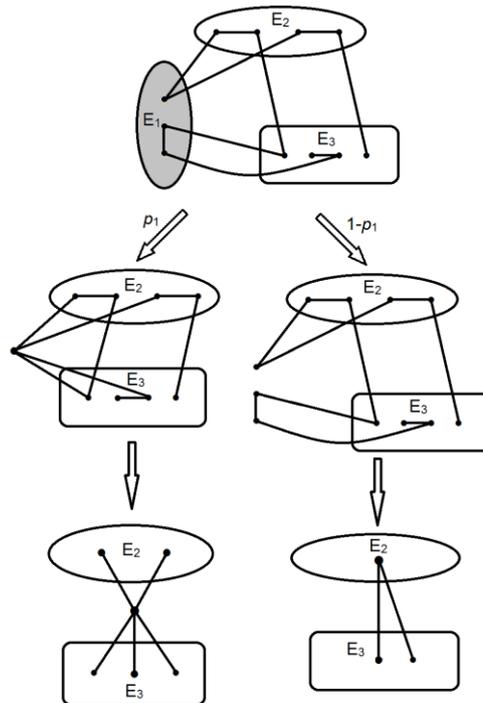


Рис. 4. Факторизация по гиперрёбру при несмежных гиперрёбрах

4. Заключение

В докладе рассмотрены некоторые вопросы организации вычисления вероятности связности случайного гиперграфа с надёжными вершинами и ненадёжными рёбрами. Приведены правила, позволяющие существенно снижать размерность задачи при использовании метода факторизации. Для самого метода факторизации предложены некоторые подходы к выбору разрешающего гиперребра. В дальнейшем усилия будут направлены на программную реализацию предложенных правил и подходов, в том числе параллельных.

Список литературы

1. Lucet C., Manouvrier J.-F. Exact Methods to compute Network Reliability // Proc. of 1st International Conf. on Mathematical Methods in Reliability. Bucharest, 1997 (статья доступна на [http:// ramp.ucsd.edu/resources.html](http://ramp.ucsd.edu/resources.html)).
2. Gertsbakh I., Shpungin Y. Network reliability importance measures: combinatorics and Monte Carlo based computations // WSEAS Trans. Computers Archive. 2008. Vol. 7, Iss. 4. P. 216-227.
3. Shooman A.M. Algorithms for Network Reliability and Connection Availability Analysis // Proc. Electro/95 Int. Professional Program. 1995. P. 309-333.
4. Мур Э., Шеннон К. Надежные схемы из ненадежных реле // Кибернетический сб.– М.: Инстр. лит., 1960. – Вып. 1. – С. 109–148.
5. Satyanarayana A. and Chang M.K. Network reliability and the factoring theorem // Networks. 1983. – Vol. 13. – P. 107-120.
6. Shaio J. A family of algorithms for network reliability problems // Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on, Vol. 4. – 2002. – P.2167-2173.
7. R. Cen, J. Li, D. Panigrahi. Hypergraph unreliability in quasi-polynomial time // [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:268724009>, 2024.
8. G. Ghoshal, V. Zlatič, G. Caldarelli, and M. E. J. Newman. Random hypergraphs and their applications // Phys. Rev. E, vol. 79, p. 066118, Jun 2009. [Online]. Available: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.79.066118>.
9. Родионов А.С., Родионова О.К. Метод ветвления в вычислении характеристик связности сетей // Вестн. СибГУТИ. Новосибирск, 2007. С. 63-66.
10. Rodionov A.S., Speeding up computation of the reliability polynomial coefficients for a random graph // Automation and remote control, n.7. – 2011. – P. 134–146.
11. A. Rodionov. Little tricks leading to a significant acceleration of the calculation of the reliability of a random graph // Proceedings of the 17th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM), 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/IMCOM56909.2023.10035637.

*Алексей Сергеевич Родионов – д.т.н., г.н.с. Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail: alrod@sscc.ru;*

СЕКЦИЯ 3

Әлеуметтік-экономикалық процестердегі оңтайландыру мәселелері

Задачи оптимизации в социально-экономических процессах

Optimization problems in socio-economic processes

МИНИМИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНЫХ РИСКОВ В ДВУХУРОВНЕВОЙ ЗАДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

А.О. Зырянов, Ю.А. Кочетов, С.М. Лавлинский

Институт математики Сибирского Отделения РАН имени С.Л. Соболева

УДК 519.863

Аннотация. Мы рассматриваем новую постановку задачи двухуровневого бинарного линейного программирования для стратегического планирования государственно-частного партнерства, в которой бюджеты игрока верхнего уровня (государства) не определены. В данной задаче мы должны построить расписание открытия экологических, инфраструктурных и производственных проектов для конечного горизонта планирования. Два игрока, государство с одной стороны (лидер) и частный инвестор с другой (ведомый) последовательно принимают решение об открытии проектов в рамках бюджетных ограничений. Мы предполагаем, что бюджет, не освоенный в текущем году, может быть перенесен на последующие года. Частный инвестор максимизирует собственный доход, а государство минимизирует свои затраты. Минимальный доход государства обеспечивается специальным ограничением. Мы показали, что данная двухуровневая задача является Σ_2^p -сложной в кооперативном и некооперативном случаях. Также мы доказали, что разрыв между значениями целевой функции государства для кооперативного и некооперативного случаев может достигать сколь угодно больших значений. Мы доказали, что сколь угодно малое ослабление ограничения на доход государства может привести к сколь угодно большому уменьшению затрат государства. Мы представили результаты вычислительных экспериментов для модельного полигона, прообразом которого является набор из 50 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края.

Ключевые слова: двухуровневое программирование, метаэвристики, вычислительная сложность, игры Штакельберга.

Введение

Задачи двухуровневого программирования уже хорошо известны. Выпущены тысячи статей и несколько монографий, а международные конференции имеют тематические секции. Тем не менее диапазон применений особенно в области дискретных постановок постоянно расширяется. Это происходит как из-за игр Штакельберга для неравноправных игроков, возникающих при конкуренции на рынке, так и из-за алгоритмической сложности возникающих оптимизационных задач. Некоторые из них являются Σ_2^p -сложными - более сложными, чем широко известные NP-полные задачи, если $P \neq NP$.

В данной работе мы изучаем новую двухуровневую бинарную задачу линейного программирования, возникающую при моделировании государственно-частного партнерства (ГЧП). Сначала государство принимает решение как игрок первого уровня (лидер). Затем инвестор делает свой выбор как игрок второго уровня (ведомый). Игроки максимизируют свои целевые функции (ЦФ), открывая инфраструктурные, экологические и производственные проекты в рамках бюджетных ограничений. Мы допускаем, что неосвоенный бюджет может быть использован позже, назовем это мягкими бюджетными ограничениями (МБО). Для инвестора ЦФ - это суммарный чистый приведенный доход. Для государства ЦФ задается размером неосвоенного бюджета при соблюдении

ограничения на минимальный дисконтированный поток наличности пары «государство-население». Такая постановка обусловлена потребностью минимизации рисков не выполнить бюджетные ограничения государства, так как в реальных условиях годовые бюджеты могут быть непредсказуемо уменьшены.

В работе мы устанавливаем желаемый уровень дохода государства и находим наименее рискованное с точки зрения выполнения бюджетных ограничений решение за государство. Мы доказываем, что новая задача государства является Σ_2^P - сложной, рассматриваем кооперативное и некооперативное поведение инвестора и показываем, что разрыв между оптимальными значениями ЦФ государства в случае кооперативного и некооперативного поведения инвестора может быть сколь угодно большим. Мы приводим доказательство, что сколь угодно малое ослабление ограничений на доход государства может привести к сколь угодно большому увеличению ЦФ. Также мы доказываем, что задача государства, где в качестве ЦФ берется доход государства, является плохо обусловленной, то есть у государства может быть несколько оптимальных решений и разрыв между значениями неосвоенного бюджета для этих решений может быть сколь угодно большим. Наконец, мы предоставляем результаты численных экспериментов для модельного полигона, прообразом которого является набор из 50 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края.

1. Постановка задачи

Введем ГЧП модель как задачу двухуровневого бинарного линейного программирования с гибким временем запуска каждого проекта и участием частного инвестора в процессе разработки программы использования производственно-сырьевой базы. В качестве ЦФ верхнего уровня положим наименьший неосвоенный бюджет на всем горизонте планирования r и добавим специальное ограничение на минимальный доход государства. В качестве ЦФ нижнего уровня возьмем суммарный чистый приведенный доход.

На входе модели задаются:

- 1) горизонт планирования T ,
- 2) бюджеты государства b^g и инвестора b^{in} в каждый год горизонта планирования,
- 3) дисконты государства θ^g и инвестора θ^{in} ,
- 4) набор инвестиционных проектов, реализуемых частным инвестором, моменты запуска и конкретную конфигурацию которых инвестор выбирает в зависимости от того, что предлагает государство в области инфраструктурного строительства,
- 5) набор инфраструктурных проектов, реализуемых государством, конкретный перечень которых и моменты запуска государство выбирает, исходя из своих оценок эффективности с точки зрения перспектив долгосрочного развития территории,
- 6) перечень экологических проектов, необходимых для компенсации экологических потерь, вызванных реализацией инвестиционных проектов; конкретный раздел обязательств по реализации экологических проектов между частным инвестором и государством на входе не определен и должен быть получен на выходе модели,
- 7) зависимости между производственными, инфраструктурными и экологическими проектами,
- 8) минимальный доход государства \bar{P}_l .

Выход модели - расписание старта проектов всех видов и механизм раздела затрат в процессе реализации экологических проектов между государством и инвестором.

Переменные верхнего уровня отвечают за открытие инфраструктурных и экологических проектов, а переменные нижнего уровня за производственные и экологические проекты.

Ограничения верхнего уровня обеспечивают однократность запуска инфраструктурных проектов, соблюдение бюджетов государства а также достижение минимального дохода государства. Ограничения нижнего уровня обеспечивают однократность запуска экологически и производственных проектов, бюджетные ограничения инвестора, а также соблюдение зависимостей между производственными, инфраструктурными и экологическими проектами. Заметим еще, что игрок нижнего уровня своим решением может нарушить ограничение на минимальный доход верхнего уровня.

2. Основные свойства и вычислительная сложность

Рассматриваемая задача ГЧП с мягкими или жесткими бюджетными ограничениями является плохо обусловленной задачей двухуровневого бинарного линейного программирования. Игрок нижнего уровня может иметь несколько оптимальных решений, что приводит к неопределенности в значениях ЦФ верхнего уровня. Мы рассматриваем два случая кооперативный, когда из множества своих оптимальных решений инвестор выбирает максимизирующее доход государства и некооперативный, когда инвестор выбирает минимизирующее доход государства. Таким образом, стратегия инвестора влияет на выполнение ограничения на минимальный доход государства, из-за чего государство может быть вынуждено открывать дополнительные проекты и расходовать дополнительный бюджет.

Теорема. Задача ГЧП является Σ_2^P - трудной при мягких и жестких бюджетных ограничениях, в кооперативном и некооперативном случаях.

Теорема. Абсолютный и относительный разрыв между оптимальными значениями ЦФ государства задачи ГЧП в кооперативном и некооперативном случаях может достигать сколь угодно большой величины.

Условимся обозначать задачу, где доход государства из ограничения переходит в ЦФ верхнего уровня, с неизменными ограничениями и ЦФ нижнего уровня, исходной задачей.

Теорема. Исходная задача ГЧП может иметь несколько оптимальных решений. Абсолютный и относительный разрыв между значениями ρ для этих решений может достигать сколь угодно больших значений.

Теорема. Пусть исходная задача ГЧП имеет одно оптимальное решение и \hat{P}_l - оптимальной значение дохода государства. Пусть $0 < \varepsilon < 1$ - сколь угодно мало. Абсолютный и относительный разрыв между значениями ρ для случаев, когда $\bar{P}_l = \hat{P}_l$ и $\bar{P}_l = \hat{P}_l - \varepsilon$, может достигать сколь угодно больших значений.

3. Алгоритм решения задачи

Для получения верхней оценки оптимального значения ЦФ верхнего уровня задача релаксируется до одноуровневой. Мы решаем задачу без ЦФ инвестора со всеми ограничениями верхнего и нижнего уровня. Назовем такое решение монопольным, оно предполагает, что государство контролирует и свои переменные, и переменные инвестора.

Для получения нижней оценки оптимального значения ЦФ верхнего уровня разработан стохастический метод локального поиска с запретами (Tabu Search(TS)) по переменным верхнего уровня (государства). Соответствующее решение нижнего уровня (инвестора) находится методом ветвей и границ с помощью пакета GUROBI. Такой подход показал свою эффективность при решении многих задач двухуровневого программирования.

В качестве окрестности решения используются все решения, получаемые из данного применением одной из следующих операций:

- 1) открытие одного или двух новых проектов,
- 2) закрытие одного или двух проектов,
- 3) закрытие проекта и открытие нового проекта,
- 4) сдвиг старта проекта на более раннее или позднее время.

Окрестность решения содержит в себе решения, отстоящие от исходного не более чем на 2 по Хэммингу.

Для диверсификации поиска и сокращения трудоемкости одной итерации применяется процедура рандомизации окрестности: каждое соседнее решение включается в рандомизированную окрестность с заданной вероятностью p независимо от других решений.

На каждой итерации метода TS происходит обход рандомизированной окрестности, при этом некоторые решения данной окрестности могут оказаться недопустимыми, то есть задача инвестора может не иметь решения, или ограничения верхнего уровня не выполняются. В таком случае ЦФ в данных решениях берется со штрафом (в текущей задаче для любого решения может быть получено значение ЦФ верхнего уровня, даже если у нижнего уровня нет допустимых решений). Это позволяет переходить в новое решение и строить новую окрестность, даже если в текущей окрестности не было ни одного допустимого решения и, таким образом, диверсифицировать поиск.

Дополнительно во время обхода окрестности на получение решения в каждой точке устанавливается ограничение по времени. Это позволяет уменьшить время обхода окрестности. После обхода окрестности для точки с наилучшим найденным решением строится точное решение без временных ограничений.

4. Численные расчеты

Вычислительные эксперименты проводятся на основе полусинтетического тестового стенда, прототипом которого является набор из 50 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края. В данном модельном полигоне число производственных и экологических проектов равно 50, число инфраструктурных проектов 10, горизонт планирования 20 лет. Вероятность решения попасть в рандомизированную окрестность равна 0.1, длина списка запретов берется равной 10, ограничение на получения решения в точке окрестности 0.5 секунды, в качестве стартового решения берется монопольное решение за государство.

Таблицы 1 и 2 представляют результаты численных экспериментов для метода локального поиска с запретами для различных комбинаций основных параметров задачи, жестких и мягких бюджетных ограничений (МБО) и кооперативного и некооперативного случаев. Столбец Гос. МБО содержит 1, когда МБО включены для государства и 0 иначе. Столбец Инв. МБО дает аналогичную информацию для инвестора. P_l^* соответствует значению дохода государства для решения исходной задачи ГЧП. В столбце LB записывается нижняя граница для ρ , которая соответствует стартовому решению. Также в столбце UB записывается верхняя граница для ρ , которая соответствует монопольному решению за гос-во. P_l равно значению дохода государства для наилучшего найденного решения. δ_{P_l} показывает, как уменьшился доход государства, $\delta_{P_l} = (P_l^* - P_l)/P_l^*$. ρ^* равно значению ρ для наилучшего найденного решения. Последний столбец δ содержит разрыв ρ для наилучшего найденного решения относительно верхней границы, $\delta = (UB - \rho^*)/UB$. В нечетных строках инвестор выбирает некооперативную стратегию, а в четных

кооперативную. Каждая строка таблиц соответствует единичному запуску алгоритма локального поиска.

#	θ^{in}	b^g	b^{in}	Гос. МБО	Инв. МБО	P_l^*	LB	UB	P_l	δ_{P_l}	ρ^*	δ
1	0.1	5	5	0	0	257.26	-0.98	4.50	234.25	0.09	4.30	0.04
2	0.1	5	5	0	0	261.60	-0.96	4.30	235.69	0.10	4.30	0.00
3	0.1	5	20	0	1	351.47	-0.88	4.30	316.96	0.10	4.30	0.00
4	0.1	5	20	0	1	351.58	-0.97	4.30	320.49	0.09	4.20	0.02
5	0.2	5	20	0	1	341.48	-0.99	4.30	307.84	0.10	3.38	0.21
6	0.2	5	20	0	1	342.20	-0.99	4.30	308.99	0.10	3.67	0.15

Таблица 1. Результаты численных экспериментов для локального поиска для $\theta^g = 0.01$

#	θ^{in}	b^g	b^{in}	Гос. МБО	Инв. МБО	P_l^*	LB	UB	P_l	δ_{P_l}	ρ^*	δ
1	0.1	5	5	0	0	149.99	-0.89	4.30	137.19	0.09	4.30	0.00
2	0.1	5	5	0	0	147.46	-0.95	4.50	134.59	0.09	4.30	0.04
3	0.1	5	20	0	1	215.74	-0.91	4.30	194.49	0.10	3.90	0.09
4	0.1	5	20	0	1	213.64	-0.97	4.30	196.13	0.08	4.30	0.00
5	0.1	10	10	1	0	264.16	-0.97	10.0	237.76	0.10	10.0	0.00
6	0.1	10	10	1	0	260.28	-0.94	10.0	236.22	0.09	10.0	0.00
7	0.2	5	5	0	0	147.35	-0.92	4.30	132.94	0.10	4.30	0.00
8	0.2	5	5	0	0	150.04	-0.98	4.30	137.44	0.08	4.30	0.00
9	0.2	20	5	1	1	195.13	-0.94	20.0	176.22	0.10	20.0	0.00
10	0.2	20	5	1	1	196.22	-0.97	20.0	177.78	0.09	20.0	0.00

Таблица 2. Результаты численных экспериментов для локального поиска для $\theta^g = 0.05$

5. Заключение

Мы рассмотрели новую постановку задачи двухуровневого бинарного линейного программирования для стратегического планирования государственно-частного партнерства в условиях бюджетной неопределенности. Мы показали, что данная задача является Σ_2^P -сложной в случае мягких и жестких бюджетных ограничений для кооперативного и некооперативного случаев. Также мы доказали, что абсолютный и относительный разрыв между оптимальными значениями ЦФ государства задачи ГЧП в кооперативном и некооперативном случаях может достигать сколь угодно большой величины. В работе приводится доказательство, что исходная задача ГЧП может иметь несколько оптимальных решений, и абсолютный и относительный разрыв между значениями ρ для этих решений может достигать сколь угодно больших значений, а также что сколь угодно малое уменьшение дохода государства может вести к сколь угодно большому увеличению ρ .

В статье описывается метод локального поиска с запретами для решения поставленной задачи ГЧП и приводятся результаты численных экспериментов на модельном полигоне из 50 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края. Из вычислительных экспериментов видно, что в ряде случаев локальный поиск нашел решение, дающее верхнюю границу ЦФ государства, при этом в большинстве случаев потребовалось уменьшить доход государства на 10%.

Список литературы

1. Lavlinskii, S.M., Panin, A.A., Plyasunov, A.V. A bilevel planning model for public–private partnership. *Autom Remote Control*. 76, 1976–1987 (2015)
2. Lavlinskii, S.M., Panin, A.A., Plyasunov, A.V. Comparison of models of planning public-private partnership. *J. Appl. Indust. Math.* 10(3), 356–369 (2016)
3. Lavlinskii, S.M., Panin, A.A., Plyasunov, A.V. The Stackelberg model in territorial planning. *Autom Remote Control*. 80, 286–296 (2019)
4. Zyryanov, A.A., Kochetov, Y.A., Lavlinskii, S.M. Stochastic local search for the strategic planning public-private partnership. *CEUR Workshop Proceedings*. 2098, 446–463 (2018)
5. Zyryanov, A.A., Kochetov, Y.A., Lavlinskii, S.M. The gap between cooperative and non-cooperative solutions for the public-private partnership model.
6. Caprara, A., Carvalho, M., Lodi, A., Woeginger, G.J. A study on the computational complexity of the bilevel knapsack problem. *SIAM J. Optim.* 24(2), 823–838 (2014)

*Зырянов Александр Олегович, м.н.с. Институт математики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail:alexander.zyryanov44@gmail.com;*

*Кочетов Юрий Андреевич, д. ф. -м. н., г.н.с. Институт математики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail: jkochet@math.nsc.ru;*

*Лавлинский Сергей Михайлович, д. т. н., в.н.с. Институт математики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail: lavlin@math.nsc.ru*

СЕКЦИЯ 4

Оңтайландыру есептерін шешудің математикалық әдістері

Математические методы решения оптимизационных задач

Mathematical methods for solving optimization problems

ON VECTOR VALUED CONTROL PROBLEM IN TOPOLOGICAL VECTOR SPACES

ALI FARAJZADEH¹, ELMAN HAZAR²

¹Department of mathematics, Razi universty, Kermanshah, Iran

²Department of mathematics, Igdir university, Igdir, Turkey

E-mail address: farajzadehali@gmail.com, A.Farajzadeh@razi.ac.ir, elman.hazar@igdir.edu.tr

Аннотация. In this paper, the definition of vector-valued control problem (VCP) is extended to linear spaces. It is shown that the admissible set of (VCP) is nonempty when the algebraic interior of the ordering cone is nonempty and is also proved that the weak efficient solution of (VCP) is nonempty when and the algebraic boundary of the admissible set of (VCP) is nonempty. It is proved that the Gerstewitz function ϕ_A, k is real valued function if A is a cone (even with the weaker condition which there exists $\delta > 0$ and $tx \in C$ for each $x \in A$ and $0 < t < \delta$) and $k \in Y \setminus A$. The scalar version of (VCP), denoted by (SP), in the setting of vector spaces is introduced. The solution set of (SP), under suitable assumptions, is nonempty and closed is provided. The condition that nonemptiness of the admissible set of (SP) guarantees the nonemptiness of the admissible set of (VS) and vice versa is investigated.

Түйін сөздер: Algebraic interior, nonsolid ordering cones, vector optimization, nonlinear scalarization, Gerstewitz function.

1. PRELIMINARIES

Throughout this paper, unless otherwise specified, Y represents a nontrivial real linear space and Y' represents its algebraic dual which is given by $Y' := \{y' : Y \rightarrow \mathbb{R} | y' \text{ is linear}\}$. It is wellknown in the literature that Y can be endowed with the strongest locally convex topology τ_c , which is generated by the family of all semi-norms defined on Y [4, sec.6.3]. The topology τ_c is called the convex core topology. Also in [4, Prop.6.3.1], the topological dual space $(Y, \tau_c)^*$ of Y is exactly the algebraic dual space Y' . In the recent works, for example [5] and [8], τ_c is used to derive properties for algebraic interiority notions, namely core and intrinsic core.

2. FORMULATION OF THE PROBLEM AND SOLUTION CONCEPTS

It is our interest in this paper to study the following vector-valued control problem (VCP); let Y be linear space and $C \subset Y$ be convex and pointed cone. Let Z, Z_1 be linear spaces, $C \subset Z$ and $D \subset Z_1$ be convex and pointed cones. Also, let U be a linear space and $G : Y \times U \rightarrow Z$ be a mapping. Furthermore, let $A : Y \times U \rightarrow Y'$ and $F : Y \times U \rightarrow Z_1$ be mappings, and $f \in Y'$.

The function G is called vector-valued cost function and the function A , a possibly nonlinear mapping, for instance a differential operator being associated to PDE-constraints. We consider the following problem in the setting of linear spaces.

...

The following example is a special case of (VCP) which are vector-valued control problems with nonlinear PDE-constraints.

Example 2.1. Assume that $\Omega \subseteq \mathbb{R}^n$ is an open and bounded set with Lipschitz boundary $\partial \Omega$.

...

The idea in Example 2.1 is to find the smallest controls $u \in \text{Eff}(G, S, C)$ in a pointwise sense such that constraints of the problem (P_{PDE}) are fulfilled. It is important to mention that for the constraints in the above problem, the assumptions for the existence result for solutions (see, Kogut [6, Th. 5.2, Lem. 5.3]) are fulfilled.

...

REFERENCES

- [1] Adán, M., Novo, V.: Proper efficiency in vector optimization on real linear spaces. *J. Optim. Theory Appl.* 124(3), 751 (2005).
- [2] Aliprantis, C.D., Border, K.C.: *Infinite Dimensional Analysis*. Springer, Berlin (2006).
- [3] Jameson, G.: *Ordered Linear Spaces*. Lecture Notes in Mathematics, vol. 141. Springer, Berlin (1970).
- [4] Khan, A.A, Tammer, C., Zălinescu, C. : *Set-valued Optimization: An Introduction with Applications* Springer, Berlin (2015).
- [5] Khazayel, B., Farajzadeh, A., Günther, C., Tammer, C.: On the intrinsic core of convex cones in real linear spaces. *SIAM J. Optim.* 31(2), 1276-1298 (2021).
- [6] Kogut, P. I., Manzo, R., Nechay, I. V.: Generalized Efficient Solutions to one Class of Vector Optimization Problems in Banach Spaces, *AJMAA* 7:, 1-27 (2010).
- [7] Leugering, G., Scheil, R. : Regularized nonlinear scalarization for vector optimization problems with PDE constraints, *GAMM-Mitt* 35:(2), 209-225, (2012).
- [8] Novo, V., Zălinescu, C.: On relatively solid convex cones in real linear spaces. *J. Optim. Theory Appl* 188, 277-290 (2021).
- [9] Tammer, C., Weidner, P.: *Scalarization and Separation by Translation invariant Functions* Springer, Switzerland (2020).

DEVELOPMENT OF THE ALLOSTERIC LEARNING OPTIMIZATION ALGORITHM (ALOA)

¹Volkan DURAN, ²Elman HAZAR, ²Ezgi AYDEMİR

¹Psychology Department, Iğdır University, Iğdır, Turkey

²Department of Mathematics, Iğdır University, Iğdır, Turkey

volkan.duran8@gmail.com; elman.hazar@igdir.edu.tr; ezgi.kaya@igdir.edu.tr

Abstract. *The aim of this research is to develop the Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA). ALOA begins with the initialization of random points in the solution space, representing initial conformations. It uses modulators to dynamically adjust parameters based on specific criteria, mimicking the conformational changes in allosteric proteins. The algorithm alternates between local and global search strategies to explore the solution space comprehensively and employs feedback mechanisms to refine these strategies continuously. Solutions undergo continuous adaptation and evolution to ensure robustness and diversity. The algorithm's flexibility and adaptability make it particularly effective for diverse optimization problems, including engineering design, financial modeling, and AI system parameter tuning. By dynamically adjusting search strategies and learning from feedback, ALOA can better adapt to varying problem landscapes. This adaptability is particularly advantageous in high-dimensional and complex optimization scenarios where traditional methods often fall short. Its ability to dynamically adapt, avoid local optima, and comprehensively explore solution spaces positions it as a powerful tool for solving complex, real-world optimization problems. Further research and testing across different domains are warranted to fully explore the potential and applications of ALOA.*

Ключевые слова: *component, formatting, style, styling, insert.*

1. Introduction

Model optimization is a significant task in today's world, and it is essential to emphasize the significance of feature selection in order to achieve the highest possible speed and clarity [1,3]. Within the context of a problem space, the optimization process determines the best possible values for a set of parameters in order to arrive at the best possible outcome. Methods of metaheuristic optimization have undergone tremendous development over the course of the last twenty years, which has led to their broad application in a variety of sectors for the purpose of resolving difficult practical issues. As a consequence of this, these methods have gained widespread recognition not only among computer scientists but also among academics working in other fields due to the fact that they are both successful and relevant [4,5]. The main groups of metaheuristic methods in this context can be given as follows [6]:

1. Biological-Based Algorithms:

- Inspired by the evolutionary and social behaviors of living organisms, such as evolutionary algorithms, ant colony optimization, bee colony optimization, and artificial immune algorithms.

2. Physics-Based Algorithms:

- Based on physical events and laws, such as the multi-point annealing algorithm and the electromagnetism algorithm.

3. **Swarm-Based Algorithms:**

- Developed from the movements and decision-making processes of groups of living organisms, such as particle swarm optimization.

4. **Social-Based Algorithms:**

- Inspired by the social structures and interactions of human communities, such as the imperialist competitive algorithm and the parliamentary optimization algorithm.

5. **Music-Based Algorithms:**

- Based on musical processes and the concept of harmony, such as the harmony search algorithm.

6. **Sport-Based Algorithms:**

- Inspired by sports competitions and competitive structures, such as the league championship algorithm.

7. **Chemistry-Based Methods:**

Methods developed by drawing inspiration from chemical reactions and interactions between substances.

In this paper, we proposed an optimization algorithm labelled as Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) based on both social based models like Teaching-Learning Based Algorithm [7] JAYA Algorithm [8], Social Group Optimization [9] and chemistry based methods such as Artificial Chemical Reaction Optimization Algorithm [6], Atom Search Optimization [10,11]. Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) was inspired by Allosteric Learning model in education. In the 1990s, Andre Giordan put out the idea of allosteric learning as a conceptual framework for learning. When it comes to the connection between enzymes and substrates in biology, the allosteric idea provides the inspiration for the model's name. The term "allosteric" refers to a biochemical notion that was formed by taking into consideration the structures and activities of specific proteins. Allosteric molecules are able to modify their forms and functions in response to the conditions that exist within the organism. Individuals are able to modify their learning characteristics and adapt in response to the shifting environmental settings that they are in, according to the premise that underpins the model. This biological metaphor is known as the allosteric learning technique, and it was developed by taking into consideration the structure and function of specific proteins that are referred to as "allosteric." The conditions of the organism's environment cause allosteric molecules to undergo a transformation in both their shape and their function. In a similar vein, one may argue that the effects of stimuli in the immediate environment are responsible for shaping cognitive architecture [12,13,14]. Since our model based on the features of the stages related to educational situation given as preperation, discovery, deepening and transfer [13]. Hence, ALOA begins with the initialization of random points in the solution space, analogous to initial conformations in biological systems. It employs modulators to dynamically adjust parameters based on specific criteria, mimicking the conformational changes observed in allosteric proteins. The algorithm alternates between local and global search strategies to comprehensively explore the solution space, utilizing feedback mechanisms to continuously refine these strategies. This adaptive and evolving process ensures robustness and diversity among solutions.

2. **METHODOLOGY**

A. Algorithm

Allosteric regulation involves modulating an enzyme's activity through the binding of molecules at specific sites, leading to conformational changes that affect the enzyme's function. Here's a detailed explanation of how ALOA:

1. Preparation

The preparation phase involves initializing the population within specified bounds, similar to preparing a set of initial states in a biological system. This ensures that the algorithm starts with a diverse set of potential solutions.

2. Exploration

The exploration phase involves diversifying the solution by applying modulators. This is similar to how an allosteric modulator influences the function of an enzyme by binding to a site other than the active site. This phase involves diversifying the solution by applying modulators, analogous to an allosteric modulator influencing an enzyme's function by binding to a site other than the active site. This approach helps in exploring a wide range of potential solutions.

3. Deepening

The deepening phase includes local search methods to fine-tune solutions within their immediate vicinity, akin to the enzyme's conformational changes upon ligand binding. This phase includes local search methods to fine-tune solutions within their immediate vicinity, akin to the enzyme's conformational changes upon ligand binding. This helps in refining the solutions for better optimization.

4. Exploration

Global search methods are used to explore solutions further afield, ensuring a wide search space is covered. It uses global search methods to explore solutions further afield, ensuring a comprehensive search space is covered. This broad exploration helps in avoiding local minima.

5. Elaboration

Differential evolution and particle swarm optimization techniques are employed, which represent the adaptive nature of biological systems influenced by allosteric modulators. It employs differential evolution and particle swarm optimization techniques, representing the adaptive nature of biological systems influenced by allosteric modulators.

6. Evaluation

The fitness of the population is evaluated to identify the best solutions, similar to how the efficiency of an enzyme is measured after a conformational change. The fitness of the population is evaluated to identify the best solutions, similar to how the efficiency of an enzyme is measured after a conformational change.

7. Transfer (Transfer)

The best individual is selected, and elite solutions are preserved to ensure that beneficial adaptations are carried forward. The best individual is selected, and elite solutions are preserved to ensure that beneficial adaptations are carried forward.

8. Adaptation

Adaptive parameter control adjusts the mutation and crossover rates dynamically, reflecting the adaptive nature of biological systems in response to environmental changes. Adaptive parameter control adjusts the mutation and crossover rates dynamically, reflecting the adaptive nature of biological systems in response to environmental changes.

9. Combined Search

The dynamic search combines differential evolution and particle swarm optimization, adjusting strategies based on the current and previous best fitness values. Combines differential evolution and particle swarm optimization, adjusting strategies based on the current and previous best fitness values. This hybrid approach ensures a balanced exploration and exploitation.

B. Criteria

The benchmark functions used in the evaluation included Ackley, Bohachevsky, Booth, De Jong's, Beale, and Three-Hump Camel, with metrics focused on mean best fitness, median best fitness, and standard deviation of best fitness. Population sizes tested were 50, 100, and 200. Performance metrics involved evaluating the mean best fitness, median best fitness, and standard deviation for each population size and function.

3. RESULTS

The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) generally performs better with larger population sizes for most functions. A population size of 200 often yields the best mean and median best fitness values, as well as the lowest standard deviation, indicating more consistent and optimal solutions. The results suggest that increasing the population size can improve the algorithm's performance, particularly for complex functions like Ackley, Bohachevsky, and the Three-hump Camel function. However, for functions like De Jong's, increasing the population size beyond 100 does not significantly enhance performance, suggesting that the optimal population size may vary depending on the specific function being optimized. The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) often demonstrates better performance and consistency across various benchmark functions compared to the Genetic Algorithm (GA). It particularly excels in achieving lower mean and median best fitness values, indicating more effective optimization, especially for certain complex functions like the Booth and Beale functions. However, for simpler functions like De Jong's function, the Genetic Algorithm shows superior performance. The choice between these algorithms can depend on the specific optimization problem and the desired consistency in performance.

Table 1. The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) generally performance with some functions

	The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA)				The Genetic Algorithm		
	Population Size	Mean Best Fitness	Median Best Fitness	Standard Deviation of Best Fitness	Mean Best Fitness	Median Best Fitness	Standard Deviation of Best Fitness
Ackley Function	50	1.814	1.965	0.926	1.997	2.001	1.045
	100	1.230	1.079	0.795	1.088	0.728	0.958
	200	0.705	0.648	0.438	0.653	0.463	0.659
Bohachevsky Function	50	1.4128	1.0522	1.058	2.955	2.119	3.138
	100	1.1320	1.0280	0.735	1.181	0.939	0.890
	200	0.8150	0.8073	0.423	0.591	0.557	0.400
Booth Function	50	0.022	0.011	0.024	0.534	0.227	0.609
	100	0.013	0.009	0.011	0.235	0.167	0.294
	200	0.005	0.004	0.004	0.068	0.035	0.091

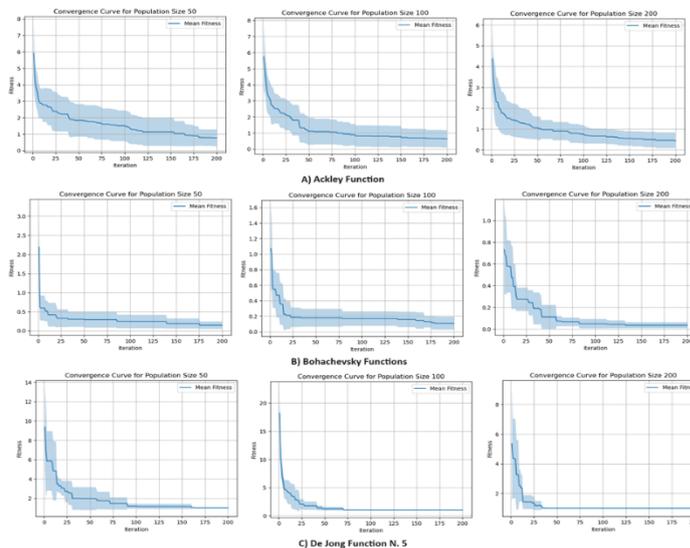
	The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA)			The Genetic Algorithm			
	Population Size	Mean Best Fitness	Median Best Fitness	Standard Deviation of Best Fitness	Mean Best Fitness	Median Best Fitness	Standard Deviation of Best Fitness
De Jong's Function	50	1.1638	1.0143	0.3354	8.210e-14	8.163e-14	1.694e-14
	100	1.0073	0.9997	0.0241	8.106e-14	8.094e-14	6.138e-14
	200	1.0079	0.9985	0.0327	8.047e-14	8.040e-14	3.33e-14
Beale Function	50	0.002	0.001	0.002	0.172	0.094	0.203
	100	0.001	0.001	0.001	0.268	0.065	0.524
	200	0.000	0.000	0.000	0.031	0.028	0.020
Three-Hump Camel	50	0.004	0.003	0.005	0.039	0.005	0.089
	100	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.007
	200	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.041

Based on the results obtained from running the Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) with three different functions evaluate the performance of the algorithm

Rapid Initial Convergence: Across all functions and population sizes, there is a rapid initial convergence where the fitness value drops significantly within the first 25 iterations.

Stabilization: After the initial rapid decline, the fitness values stabilize, with larger population sizes generally showing better final fitness values and more stability.

Consistency: Larger population sizes tend to show more consistent performance with narrower standard deviations, indicating that increasing the population size can improve both the performance and reliability of the algorithm.



Conclusion

The innovative approach of ALOA demonstrates significant improvements in navigating complex solution spaces, effectively avoiding local optima, and efficiently converging to optimal solutions. Its flexibility and adaptability make it particularly effective for a diverse range of optimization problems, including engineering design, financial modeling, and AI system parameter tuning. By leveraging the principles of allosteric modulation, ALOA offers a robust

framework for addressing the limitations of traditional optimization algorithms, dynamically adjusting search strategies and learning from feedback to better adapt to varying problem landscapes.

- **Effectiveness:** The Allosteric Learning Optimization Algorithm (ALOA) effectively reduces the fitness value quickly in the initial iterations for all tested functions, showing its efficiency in navigating the solution space.
- **Population Size Impact:** Larger population sizes (100 and 200) tend to achieve lower fitness values and show more consistent results, indicating that a larger population size can improve the algorithm's performance and stability.
- **Convergence Speed:** The algorithm demonstrates fast convergence speed in the initial stages, followed by gradual improvements and stabilization.

These observations suggest that ALOA is robust and efficient for optimizing different benchmark functions, especially with larger population sizes. Further experiments with additional runs could provide more detailed insights into its performance. The adaptability of ALOA is especially advantageous in high-dimensional and complex optimization scenarios where traditional methods often fall short. This algorithm provides a significant advancement in the field of optimization by incorporating biological principles into its design, positioning it as a powerful tool for solving complex, real-world optimization problems. Further research and testing across different domains are warranted to fully explore the potential and applications of ALOA.

References

1. Van Geit, W., De Schutter, E., & Achard, P. (2008). Automated neuron model optimization techniques: A review. *Biological Cybernetics*, 99(4), 241–251. <https://doi.org/10.1007/s00422-008-0257-6>
2. Theng, D., & Bhoyar, K. K. (2024). Feature selection techniques for machine learning: A survey of more than two decades of research. *Knowledge and Information Systems*, 66(3), 1575–1637. <https://doi.org/10.1007/s10115-023-02010-5>
3. Farag, A., Ali, Z., Mohamed Zaki, A., H. Rizk, F., Eid, M., & El-kenawy, E.-S. (2024). Exploring optimization algorithms: A review of methods and applications. *Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 8-17. <https://doi.org/10.54216/JAIM.070201>
4. Houssein, E. H., Mina, Y., & Aboul, E. (2019). Nature-inspired algorithms: A comprehensive review. In *Hybrid Computational Intelligence: Research and Applications*. CRC Press.
5. Saber, M., Abdelhamid, A., & Ibrahim, A. (2023). Metaheuristic optimization review: Algorithms and applications. *Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 3, 21-30. <https://doi.org/10.54216/JAIM.030102>
6. Alataş, B., & Özer, A. B. (2017). Genelleştirilmiş ilginç sınıflandırma kurallarının yapay kimyasal reaksiyon optimizasyon algoritması ile keşfi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 101-118.
7. Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. (2011). Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315.
8. Rao, R. (2016). Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34.
9. Satapathy, S., & Naik, A. (2016). Social group optimization (SGO): a new population evolutionary optimization technique. *Complex & Intelligent Systems*, 2(3), 173-203.
10. Fu, Y., Li, Z., Qu, C., & Chen, H. (2020). Modified atom search optimization based on immunologic mechanism and reinforcement learning. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
11. Eker, E. Kayrı, M. ve Ekinçi, S. (2019). Kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümü için atom arama optimizasyon algoritması”, *DUMF MD*, c. 10, sy. 3, ss. 841–851, , doi: 10.24012/dumf.540402.
12. Giordan, A. (1995). Les Nouveaux Modèles Sur Apprendre: Pour Dépasser Le Constructivisme, *Perspectives*, 25(1)

13. Budak, Y. (2010). (Post Yapılandırıcılık) Allosterik Öğrenme Yaklaşımına Göre Öğrenme ve Eğitim Durumlarının Olası Niteliği. International Conference on New Trends in Education and Their Implications. 11(13), 468-473
14. Berkant, H. G. ve Baysal, S. (2017). Allosteric Learning Model İn English Lesson: Teachers' Views, The Instructions Of Curriculum And Course Book, A Sample Of Daily Lesson Plan. Universal Journal of Educational Research, 5(1), 84-93.

ОБ НАИБОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНОМ ДВИЖЕНИИ ОТРЕЗКА НА ПЛОСКОСТИ

Т.С. Мустафин

Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

УДК 517.95

Аннотация. В данной работе рассмотрена задача о нахождении закона такого непрерывного перемещения единичного отрезка AB из положения A_0B_0 в положение A_1B_1 , чтобы сумма длин путей, пройденных его концами, была наименьшей. Прилагаются метод и алгоритм решения задачи.

Ключевые слова: оптимальное управление, принцип максимума, задача Улама, приближенные методы.

Задачи оптимизации зародились давно: во времена Архимеда и Зенодора. Ими выяснено, что «среди изометрических фигур наиболее вместимым является круг, а среди фигур равной площади – шар».

Известна задача Евклида. В данный треугольник ABC вписать параллелограмм $ADEF$ наибольшей площади.

В этих словах обозначена постановка следующих экстремальных задач – среди плоских замкнутых кривых, имеющих заданную кривую, имеющих заданную длину, найти кривую, охватывающую наибольшую площадь, и среди пространственных замкнутых поверхностей, имеющих заданную площадь, найти поверхность, охватывающую наибольший объем.

Известна задача Дидоны, являющейся классической в теории экстремальных задач:

Требуется указать оптимальную форму участка земли, который при заданной длине периметра L имеет наибольшую площадь S . Её решением будет круг.

В средние века экстремальные задачи решались специально разработанными методами, общих приемов решения экстремальных задач не было. Отметим, что И.Кеплер решил несколько конкретных экстремальных задач, в частности задачу о цилиндре наибольшего объема, вписанном в шар.

Отметим вклад таких ученых как Кавальери, Вивиани, Торичелли, Ферма, И. Бернулли, И. Ньютон, Штейнер и другие.

Например, задача Штейнера звучит так. В плоскости треугольника найти точку, сумма расстояний от которой до вершин треугольника минимальна.

Задача о быстродействии. Пусть имеется тележка, движущая прямолинейно без трения по горизонтальным рельсам. Тележка управляется внешней силой, которую можно изменять в заданных пределах. Требуется остановить тележку в определенном положении в кратчайшее время. Особенность (сила тяготения) этой задачи заключается в том, что действующие силы делятся на две части. Одна часть – силы природы, другая (сила тяги) позже.

Теория решения таких задач была построена и её называют теорией оптимального управления.

Одной из важных особенностей современной эпохи является все возрастающее внимание к проблемам управления. Ощущается потребность в плодотворном и эффективном использовании природных ресурсов, огромных людских ресурсов, материальных и технических средств. Везде, где есть возможность активного участия человека, всегда возникает проблема наилучшего, или оптимального из возможных

управлений. Оптимизационные проблемы, связанные с потребностями экономики и техники, потребовали в свою очередь создания новых разделов математики. В 40-х годах прошлого столетия приобрели актуальность задачи управления летательными аппаратами и технологическими процессами сложной структуры.

Такая математическая теория была создана в пятидесятых годах прошлого столетия и получили название теории оптимального управления. Выдающуюся роль сыграл принцип максимума Понтрягина. Произошел синтез идей и методов исследования, с одной стороны восходящих к классикам вариационного исчисления, а с другой стороны – вполне современных.

Одновременно с чисто теоретическими исследованиями происходила разработка приближенных методов решения задач оптимального управления. В настоящее время об эффективном методе решения можно говорить в том случае, если действительно решаются прикладные задачи. К сожалению, для решения многих задач нет эффективных оценок, позволяющих по заданной точности определить их ресурсоемкость.

Сейчас создано много вычислительных методов для решения задач оптимального управления. Созданы стандартные алгоритмы, объединенные общим назначением – они используются в качестве рабочего инструмента при численном решении задач оптимизации.

Принцип максимума Понтрягина – это определенного типа необходимое условие экстремума, которое дает возможность среди всех возможных допустимых процессов выделить те, которые могут претендовать на роль оптимальных.

Принцип максимума особенно важен в системах управления с максимальным быстродействием и минимальным расходом энергии, где применяются управления релейного типа, принимающие крайние, а не промежуточные значения на допустимом интервале управления.

Рассмотрена задача о нахождении закона такого непрерывного перемещения единичного отрезка АВ из положения $A_0 B_0$ в положение $A_1 B_1$, чтобы сумма длин путей, пройденных его концами, была наименьшей. Были предложены разные решения этой задачи [2]. Автор свел эту задачу к нахождению минимума интеграла, Решение задачи он искал в специальном классе функций, что позволило получить уравнения Эйлера. Несмотря на разобранные случаи задачи Улама [2], было бы интересным получить более простое решение с использованием принципа максимума Понтрягина.

Нерешенной осталась задача в случае, когда минимальное значение принимает не сумма длин путей, описанных концами отрезка, а корень квадратный из суммы квадратов этих длин [2]. Мы предлагаем алгоритмы решения этой задачи, а также задачи нахождения минимального значения не суммы путей, описанных концами отрезка, а корня квадратного из суммы квадратов этих длин, к стати указанной в этой же статье С. Улама. Прилагаются алгоритмы и программы решения этих задач.

Литература

1. Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Математическая теория оптимальных процессов, М.: Наука, 1969, 384
2. С. Улам, Нерешенные математические задачи. М.: Наука, 1964, 168
3. А. Б. Гуревич О “наиболее экономичном” перемещении отрезка в плоскости, Дифференц. уравнения, 1975, том 11, № 12, 2134–2142

*Мустафин Тимур Салимович – магистр, преподаватель
Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

А.А. Татин

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

УДК 517.956.29 + 004.032.26

Аннотация. В данной работе рассматривается прямая и обратная задача для уравнения геоэлектрики. Рассматривается обратная задача по определению диэлектрической проницаемости слоистых сред. На практике такие задачи возникают по определению геоэлектрических характеристик строительных участков, а также состояния взлетно-посадочных аэродромов.

Суть обратной задачи состоит в определении диэлектрической проницаемости слоистых сред при известной мощности слоев. Для решения обратной задачи разработан интеллектуальный алгоритм основанный на оптимизации функции активации нейронных сетей. Для архитектуры нейронной сети построена выборка набора параметров характерных значений диэлектрической проницаемости по слоям. Для обучения нейронной сети по определению решения прямой задачи использован метод послойного пересчета. Для численных расчетов по апробации интеллектуального алгоритма использованы данные измерения георадара серии ОКО-2 на дневной поверхности (слоистой среды). Эксперименты были проведены совместно со специалистами Национального центра экспертизы дорожных активов РК.

Ключевые слова: геофизика, некорректные и обратные задачи, георадар, метод послойного пересчета, преобразование Фурье.

Постановка прямой и обратной задачи геоэлектрики

Физическая постановка задачи состоит в следующем: на дневной поверхности (слоистой среды) проводится зондирование георадарным комплексом Око-2 (GPR) с использованием антенн 400 и 1000 (Гц). Различные слои отличаются друг от друга диэлектрической проницаемостью и проводимостью.

На дневной поверхности с помощью передатчика и антенны излучается электромагнитный импульс. Далее приемной антенной фиксируется отклик среды – совокупность волн, отличающихся друг от друга временами пробега, интенсивностью и формой.

При исследовании слоистых сред с физической точки зрения, можно предположить, что коэффициенты системы уравнения Максвелла не зависят от переменной x_1 . Это оправдывается тем, что слоистые среды имеют геоэлектрический разрез, расположенный слоями (пластами). Опишем постановку задачи, сформулированной для уравнения геоэлектрики в работах [1].

Рассмотрим источник сторонних токов вида:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} g(x) \delta(z - z_*) \theta(t) f(t) \quad (1)$$

Задание стороннего тока в виде (1) соответствует мгновенному включению тока, параллельного оси Oy сосредоточенного в точке z_* и распределённого по оси Ox с плотностью $g(x)$ (в частности это может быть бесконечно длинный кабель), в зависимости от времени ток ведёт себя согласно функции $f(t)$.

Рассмотрим N_l -слойную структуру с границами раздела z_k ($k = \overline{0, N_l}$), $z_0 = 0$; m -ый слой – интервал $[z_{m-1}, z_m]$, последний $N_l + 1$ (подстилающий) слой – полупространство $[z_{N_l}, \infty)$, воздух – полупространство $(-\infty, 0]$.

Электромагнитные свойства каждого слоя характеризуются значениями диэлектрической проницаемости $\varepsilon_0 \varepsilon$, проводимости σ и магнитной проницаемости $\mu_0 \mu$. Известно, что $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м и $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м, и для достаточно широкого круга сред значение ε изменяется в интервале $[1; 80]$ и $\mu = 1$, поэтому будем считать, что магнитная проницаемость является известной постоянной.

Так как среда является горизонтально-слоистой, то ε , σ являются кусочно-постоянными функциями переменной z ($z \in (-\infty, \infty)$).

Пусть в начальный момент времени электромагнитное поле находится в состоянии покоя:

$$E|_{t < 0} \equiv 0, \quad H|_{t < 0} \equiv 0. \quad (2)$$

При вышеуказанных предположениях дифференциальное уравнение для компоненты E_2 [1], примет вид:

$$\varepsilon \frac{\partial^2 E_2}{\partial t^2} + \sigma \frac{\partial E_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial E_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial E_2}{\partial z} \right), \quad (3)$$

с начальными условиями

$$E_2|_{t < 0} \equiv 0, \quad (4)$$

и условиями на границе

$$E_2|_{z=0} = g(x, t), \quad \left[\frac{1}{\mu} \frac{\partial E_2}{\partial z} \right]_{z_*} = f'(t). \quad (5)$$

Применив преобразование Фурье по горизонтальной переменной x и по временной переменной t :

$$u(\omega, \lambda, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_2(t, x, z) e^{i(\omega t + \lambda x)} dx dt$$

Получим из (1)-(5) следующую задачу [2]:

$$u_{zz} - (\lambda^2 - \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon + i \omega \mu_0 \sigma) u = 0, \quad (6)$$

$$[u]_{z_j} = 0, \quad [u_z]_{z_j} = 0, \quad j = \overline{0, N_l}, \quad [u]_{z_*} = 0, \quad [u_z]_{z_*} = -f(\omega) \mu_0, \quad (7)$$

Здесь λ и ω – параметры преобразования Фурье по переменным x и t соответственно, обозначение $[\cdot]_z$ используется для склейки, т.е. $[w]_z = w(z+0) - w(z-0)$ и везде ниже черта над комплексной величиной будет обозначать комплексное сопряжение.

Обозначим

$$k^2 = \lambda^2 - \chi, \quad \chi = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon + i\omega\mu_0. \quad (8)$$

Функция k является кусочно-постоянной функцией, так как кусочно-постоянными функциями являются ε и σ .

Условия затухания на бесконечности

$$u \rightarrow 0 \quad (x \rightarrow \pm\infty), \quad (9)$$

Пусть относительно решения прямой задачи (6) – (8) известна дополнительная информация:

$$u|_{z=0} = g(\omega, \lambda). \quad (10)$$

Метод послойного пересчета

Для описания численного алгоритма решения прямой задачи (6) – (9) приведем исходное уравнение к уравнению Риккати.

Для решения уравнения (6) используем метод послойного пересчёта [3]. Введём функцию s :

$$u_z(z) = s(z)u(z), \quad (11)$$

Это функция удовлетворяет уравнению Риккати

$$s' + s^2 = k^2. \quad (12)$$

При вычислении “справа – налево”, в каждом интервале $[z_{m-1}, z_m]$ решение уравнения имеет вид:

$$s(z) = k_m \frac{(s^m + k_m)e^{2k_m(z-z_m)} + (s^m - k_m)}{(s^m + k_m)e^{2k_m(z-z_m)} - (s^m - k_m)}, \quad (13)$$

при вычислении “слева – направо”, решение уравнения (13) имеет вид:

$$s(z) = k_m \frac{(s^{m-1} + k_m) + (s^{m-1} - k_m)e^{2k_m(z_{m-1}-z)}}{(s^{m-1} + k_m) - (s^{m-1} - k_m)e^{2k_m(z_{m-1}-z)}} \quad (14)$$

где: $s^m = s|_{z=z_m}$, k_m – значение кусочно-постоянной функции k в интервале $[z_{m-1}, z_m]$ и $Re\{k_m\} \geq 0$.

Рекуррентные вычисления со слоя на слой будем вести, определив до точки z_* , в которой расположен источник.

Из условия (9) имеем, что

$$s(z) = -k_{N_l+1}, \quad z \in [z_{N_l}, \infty).$$

Из условия склейки:

$$[s]_{z_k} = 0. \quad (15)$$

Положим, что:

$$s^{N_l} = -k_{N_l+1}$$

Рекуррентное вычисления “справа-налево” значений s^m вычислим следующим образом:

$$s^{m-1} = k_m \frac{(s^m + k_m)e^{-2k_m h_m} + (s^m - k_m)}{(s^m + k_m)e^{-2k_m h_m} - (s^m - k_m)}, \quad h_m = z_m - z_{m-1}.$$

Получим что: $s^* = s|_{z=z_*+0}$.

Аналогично, используя условие затухания (9), получим:

$$s(z) = k_0, \quad z \in (\infty, z_*].$$

Так как источник расположен в $(\infty, 0]$, то

$$s|_{z=z_*-0} = k_0.$$

Из условия склейки (15) в точке $z = z_*$

$$u|_{z=z_*} \equiv u^* = -\frac{\mu_0}{s^* - k_0} f(\omega).$$

Интегрируя уравнение (12) на интервале $[z_*, 0]$, получим :

$$u|_{z=0} \equiv u^0 = u^* \frac{2k_0 e^{-k_0 z_*}}{(s^0 + k_0)e^{-2k_0 z_*} - (s^0 - k_0)}$$

Интегрируя на каждом интервале $[z_{m-1}, z_m]$ уравнение (16), решение прямой задачи (7)-(9) имеет вид:

$$u(z) = u^{m-1} l(z), \quad l(z) = e^{k_m(z_{m-1}-z)} \frac{(s^m + k_m)e^{2k_m(z-z_m)} - (s^m - k_m)}{(s^m + k_m)e^{-2k_m h_m} - (s^m - k_m)}. \quad (16)$$

Решение прямой задачи зависит от изменения величины k , т.е.

$$u = u(k),$$

Тогда из (13) вытекает, что:

$$k = \sqrt[4]{[\lambda^2 - \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon]^2 + [\omega \mu_0 \sigma]^2} e^{i\beta/2},$$

$$\beta = \begin{cases} \arctg \frac{\omega\mu_0\sigma}{\lambda^2 - \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon}, & \lambda^2 > \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon \\ \pi/2, & \lambda^2 = \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon, \\ \pi + \arctg \frac{\omega\mu_0\sigma}{\lambda^2 - \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon}, & \lambda^2 < \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon \end{cases}$$

Наибольшее влияние на изменение величины k оказывают вариации ε и σ , в случае

$$\omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon \approx \omega\mu_0\sigma \text{ и } \lambda^2 \sim \omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon.$$

Положим $\omega^2\mu_0\varepsilon_0\varepsilon = \omega\mu_0\sigma$, тогда имеем:

$$\omega_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}. \quad (17)$$

Если известны средние значения диэлектрической проницаемости и проводимости, значение опорной круговой частоты (17) и мощность скин-слоя для этой частоты, можно вычислить из соотношения:

$$h_s = \sqrt{\frac{2}{\omega_0\mu_0\sigma}}.$$

Интеллектуальный алгоритм для решения обратной задачи

Обратная задача: пусть относительно решения прямой задачи (6) – (8) известна дополнительная информация (10) (отклика среды). Тогда из уравнения (6) по известным (7) – (8) и дополнительной информации (10) восстановить набор параметров

$$N = (v_*, v_1, v_2, v_3, v_4), \quad (18)$$

где наборы v_i – диэлектрическая проницаемость i -го слоя, а v_* – диэлектрическая проницаемость воздуха ($v_* = 1$).

Для нахождения набора параметров (18), в первую очередь, составляем счетную группу всевозможных наборов параметров, описанный ниже

$$R^{(j)} = (r_0^{(j)}, r_1^{(j)}, r_2^{(j)}, r_3^{(j)}, r_4^{(j)}), \quad j = \overline{1, N_R}, \quad (19)$$

$$R = \{R^{(j)} \mid j = \overline{1, N_R}\}, \quad (20)$$

где группа R соответствует диэлектрической проницаемости ε . Составление этой группы наборов (19) – (20) вполне реализуема, поскольку диэлектрическая проницаемость ε в среде меняется от 1 до 80.

Введем кусочно-постоянные функции $r^{(j)}(z)$ для группы R такие, что

$$r^{(j)}(z) = \begin{cases} r_0^{(j)}, & z \in (-\infty, 0], \\ r_1^{(j)}, & z \in [0, z_1], \\ r_2^{(j)}, & z \in [z_1, z_2], \\ r_3^{(j)}, & z \in [z_2, z_3], \\ r_4^{(j)}, & z \in [z_4, \infty) \end{cases} \quad j = \overline{1, N_R}, \quad (21)$$

При этом функции $r^{(j)}(z)$ соответствуют наборам параметров $R^{(j)}$.

Далее, для каждого набора $R^{(j)}$ из группы набора параметров R решаем прямую задачу

$$u_{zz}^{(j)} - (k^{(j)})^2 u^{(j)} = 0, \quad j = \overline{1, N_R}, \quad (22)$$

$$[u^{(j)}]_{z_m} = 0, [u_z^{(j)}]_{z_m} = 0, \quad m = \overline{1, N_l}, \quad [u^{(j)}]_{z_*} = 0, [u_z^{(j)}]_{z_*} = -\mu_0 f(\omega). \quad (23)$$

При этом коэффициент $k^{(j)}$ такой, что

$$k^{(j)} = (\lambda^{(j)})^2 - (\omega^{(j)})^2 \mu_0 \varepsilon_0 r^{(j)} + i \omega^{(j)} \mu_0 \sigma,$$

где $r^{(j)}$ – кусочно-постоянные функции (21).

Найденные решения из (23) – (24) объединим в группу решений U такой, что

$$U = \{u^{(j)} \mid j = \overline{1, N_R}\}. \quad (24)$$

В силу теоремы единственности, для прямых задач (22) – (23) следует, что каждому набору параметров $R^{(j)}$ из группы R соответствует единственное решение $u^{(j)}$ из группы U , и наоборот. А также в силу той же теоремы единственности для обратной задачи следует, что, применяя нейронную сеть, мы точно сможем определить решение (18) обратной задачи.

Рассмотрим квадратичный функционал следующего вида

$$J = J[r] = \int_{\omega_0/c}^{c\omega_0} [u(\omega, \lambda_0, 0; \varepsilon) - u(\omega, \lambda_r, 0; r)]^2 d\omega \quad (25)$$

где $\lambda_0^2 = \omega_0^2 \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon$, $\lambda_r^2 = \omega_0^2 \mu_0 \varepsilon_0 r$, а r – параметр решения $u(\omega, \lambda_r, 0; r)$ из уравнения (6) – (8), где ε заменен на r .

Задача заключается в минимизации квадратичного функционала и в нахождении приближенное значение r к точному значению ε . Для этого строится итерационный процесс следующего вида (метод градиентного спуска)

$$r^{(n+1)} = r^{(n)} - \nabla J[r^{(n)}], \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (26)$$

Хоть с точки зрения методов оптимизации функционал является константой и градиент его равен нулю, однако с точки зрения нейросети функционал зависит от параметра r и градиенты функционала также берутся по параметрам r . Поэтому выписанный градиент функционала в (26) не нулевые и данный итерационный процесс (26) имеет смысл на существование.

Идея состоит в обучении нейросети таким образом, чтобы он находил приближенное решение $r^{(n_*)}$ к точному решению ε из группы наборов параметров R .

Численные расчеты

Рассмотрим модель слоистой среды: 1-ый слой – песок, 2-ой слой – с мелким гравием щебенка, 3-ий слой – с крупным гравием щебенка, 4 слой – суглинка. Таблица 1 – представляет модель слоистой среды.

Таблица 1. – Модель слоистой среды

номер слоя	1	2	3	4
ε	4.0	5.0	8.0	18.0
σ (См/М)	0.00592	0.00662	0.00837	0.0126
z_k (М)	0.20	0.50	0.90	2.00

Поскольку функции $\varepsilon(z)$ и $\sigma(z)$ являются кусочно-постоянными, то нетрудно вычислить средние значения этих функций в виде усредненных интегралов по глубине

$$\varepsilon_{mean} = \frac{1}{h} \int_0^h \varepsilon(z) dz \approx 12.65, \quad \sigma_{mean} = \frac{1}{h} \int_0^h \sigma(z) dz \approx 0.0105.$$

Далее вычислим по формуле (17) опорную круговую частоту $\omega_0 \approx 9.4 \cdot 10^7$. Тогда мощность скин-слоя:

$$h_s = \sqrt{\frac{2}{\omega_0 \mu_0 \sigma_{mean}}} \approx 1.3(\text{м}).$$

На рисунке 1 ниже приведен $|u(\omega, \lambda, 0)|$ модуль решения прямой задачи, для выбранной модели слоистой среды.

Круговая частота меняется в интервале $\left[\frac{\omega_0}{60}, 60\omega_0\right]$, $N_\omega = 2048$.

Поскольку нетрудно вычислить $\omega_0 \mu_0 \sigma \approx 1.12$, то пространственную частоту выберем из интервала $[0, 2]$, $N_\lambda = 2048$.

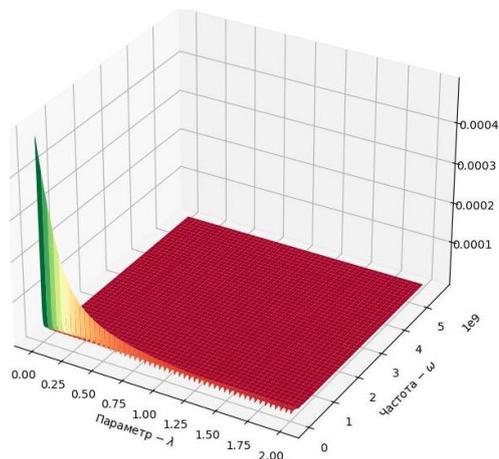


Рис.1. $|u(\omega, \lambda, 0)|$

Модуль решения прямой задачи

Результаты использования интеллектуального метода для решения обратной задачи

По известной дополнительной информации удалось восстановить структуру подземной среды, путем применения нейронной сети. В таблице 2 ниже указаны диэлектрические проницаемости и удельной проводимости исходной подземной среды, а также приближенные значения к параметрам диэлектрической проницаемости данной среды.

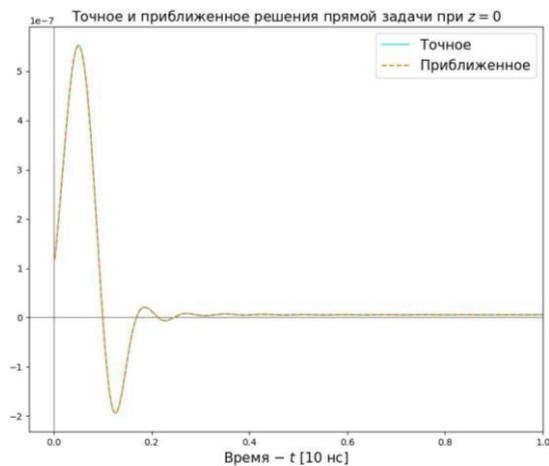


Рис.2. Точное и приближенное решения прямой задачи

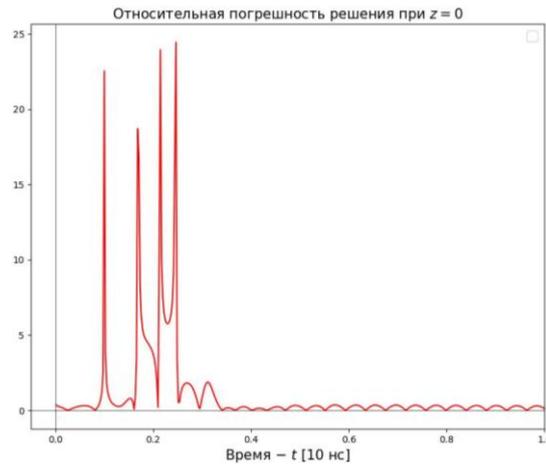


Рис.3. Относительная погрешность (в процентах %) решения прямой задачи

Таблица 2. – Точные и приближенные значения характеристик данной среды

номер слоя	1	2	3	4
ε	4.0	5.0	8.0	18.0
σ (См/м)	0.00592	0.00662	0.00837	0.0126
r	3.85	5.07	8.12	17.78

где ε – точные значения характеристик среды, а r –их приближенные значения.

На рисунках 2, 3 выше приведены точное, приближенное решения прямой задачи и относительная погрешность. А также погрешность по норме L_2 имеет следующий порядок

$$\| [E_2]_{true}(z = 0, t) - [E_2]_{pred}(z = 0, t) \|_{L_2} = 1.72 \cdot 10^{-10} .$$

Приближенное решение на рисунке 2 было получено путем применения интеллектуального метода решения обратной задачи.

Работа поддержана в рамках грантового финансирования МНиВО РК 2023-2025 по проекту AP 19680361 «Разработка вычислительных технологий для диагностики дорожной одежды автомобильных трасс».

Список литературы

1. Романов В.Г., Кабанихин С.И., Обратные задачи геоэлектрики. М.: Наука, 1991.
2. Карчевский А.Л., Аналитическое решение уравнений Максвелла в частотной области для горизонтально-слоистых анизотропных сред // Геология и Геофизика, 2007, т. 48, № 8, с. 889-898. (Перевод: Karchevsky A.L., A frequency-domain analytical solution of Maxwell's equations for layered anisotropic media // Russian Geology and Geophysics, 2007, v. 48, n. 8, p. 689-695.)
3. Карчевский А.Л., Исакаев К.Т., Шолпанбаев Б.Б. Метод послойного пересчёта для решения обратных задач геофизики // Вестник Евразийского национального университета, 2012 (pdf-файл: <http://fit.enu.kz/uploads/vestnik/37.pdf>)

4. Mukanova B.G., Iskakov K.T., Kembay A.S., Boranbaev S.A., Inverse source identification problem for wave equation: an application for interpreting GPR data // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, ISSN 2306-6172, Vol. 8, Issue 3 (2020) 78 – 91.
5. Iskakov K.T., Tokseit D.K., Oralbekova Zh.O., Mirgalikyzy T., Creation and testing of a new mathematical software for processing georadar data // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, ISSN 2306-6172, Vol. 7, Issue 4 (2019) 86 – 99.
6. Chenglong Liu, Yuchuan Du, Guanghua Yue, Yishun Li, Difei Wu, Feng Li, Advances in automatic identification of road subsurface distress using ground penetrating radar: State of the art and future trends // Automation in Construction, Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105185>
7. Harkat H., Ruano A.E., Ruano M.G., Bennani S.D., GPR target detection using a neural network classifier designed by a multi-objective genetic algorithm // Applied Soft Computing, Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.030>

*Алмаз Алгазыевич Татин – магистр, докторант 1 курса
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева;
010000, Казахстан, Астана; e-mail: tamlukbeibarys@gmail.com*

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

К.Т. Искаков

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г Астана. Казахстан

УДК 517.956.29 + 519.677

Аннотация. В докладе нами рассматривается математическая модель интерпретации радарограмм, полученных георадарами: «Лоза-В», «Око-2». Для качественной интерпретации радарограмм необходимо сопоставлять расчетные данные математической модели с реальными данными, что позволит разработать методику интерпретации радарограмм.

Георадары имеют встроенное программное обеспечение, выходная информация которого представляет собой радарограмму, т.е. временные развертки отраженного сигнала, снятые вдоль трассы. Для интерпретации радарограмм используют инженерно-технические приемы, а также зависит от опыта геофизика и навыков чтения радарограмм.

С другой стороны, существуют иное направление интерпретации радарограмм, основанное на математическом и компьютерном моделировании процесса распространения и отражения электромагнитных волн в среде. Радарограмма представляет с собой функцию от времени пробега до неоднородности.

1. Постановка прямой и обратной задачи подповерхностной радиолокации

Физическая постановка одной из задач подповерхностной радиолокации заключается в следующем; на поверхности асфальта включается источник стороннего тока j^{cm} , имеющий по времени колоколо-образный вид $r(t)$ и длительность воздействия порядка двух наносекунд. Там же на поверхности асфальта в течении примерно 50 наносекунд измеряется электромагнитное поле (отклик среды), по которому требуется определить ε (или σ), либо одновременно ε , σ на глубине от нуля до 2,2 метра.

Рассмотрим один из простейших вариантов указанной задачи, когда ε и σ зависят от глубины x_3 , а источником стороннего тока является достаточно длинный кабель, расположенный по центру и протянутый вдоль дорожного полотна (по оси x_3). В этом случае, пренебрегая влиянием концов кабеля и боковых границ дороги, для компоненты E_2 вектора электрической напряженности получим следующую задачу Коши:

$$\varepsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} E_2 + \sigma \frac{\partial}{\partial t} E_2 = \frac{1}{\mu} \Delta_{x_1 x_3} E_2 - p(x_1) q(x_3) r'(t) \quad (1)$$

$$E_{2|t=0} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} E_{2|t=0} = 0, \quad (2)$$

здесь: $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{отн}$, $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$, $\mu = \mu_0 \cdot \mu_{отн}$, $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma}{\text{М}}$, $\mu_{отн} = 1$, $p(x_1)$

$p(x_1)q(x_3)$ - функции, описывающие поперечные размеры источника. Для исследования прямой задачи (1)-(3) были выбраны четыре характерных для реальной ситуации модели, с общими геоэлектрическими свойствами. Горизонтальные пунктирные линии $x_3^1 = 0.2м$, $x_3^2 = 1.2м$, $x_3^3 = 2.2м$ -соответствуют границам раздела сред между однородными средами, в каждой из которых значения $\varepsilon_{отн}$ и σ -постоянны. Значение электромагнитных параметров $\varepsilon_{отн}$ и σ в слоях с номерами 1,2,3,4 для каждой из четырех рассматриваемых моделей приведены в таблице 1.

Порядковый номер модели	$\varepsilon_{отн}$				$\sigma_{отн}$			
	Номера слоев				Номера слоев			
	1	2	3	4	1	2	3	4
I	1	3.5	6	9	0	0.02	0.02	0.02
II	1	9	6	9	0	0.02	0.02	0.02
III	1	9	6	9	0	0.05	0.02	0.05
IV	1	9	6	6	0	0.05	0.02	0.05

Сведем задачу (1)-(2) к одномерной. Обозначим через оператор преобразования Фурье по переменной x_1 , перепишем (1)-(2) в виде:

$$\varepsilon U_{xx} + \sigma U_t = \frac{1}{\mu} (U_{x_3 x_3} - \lambda^2 U) - P_\lambda q(x_3) r'(t) \quad (3)$$

$$U|_{t=0} = 0, U_{t|t=0} = 0, \quad (4)$$

Здесь: $U = F_{x_1} [E_2(x_1, x_3, t)]$, $P_\lambda = F_{x_1} [p(x_1)]$, λ - параметр преобразования Фурье по переменной x_1 .

Отметим, что задание коэффициентов уравнения (1) в виде, представленной в таблице 1, приводит к необходимости добавить к соотношениям (1)-(2), условия непрерывности для горизонтальной компоненты E_2 , на границах раздела x_3^1 , x_3^2 , x_3^3 , которое в терминах функции и (образ Фурье), примет вид:

$$[U]_{x_3=x_3^k} = 0, [U_{x_3}]_{x_3=x_3^k} = 0, \quad k = 1, 2, 3 \quad (5)$$

Итак, постановка прямой задачи состоит в следующем. По известным значениям кусочно постоянных функций $\varepsilon(x_3)$, $\sigma(x_3)$, и положительной постоянной μ определить функцию U как решение обобщенной задачи Коши из соотношений (3)-(5). Пусть относительно решения прямой задачи (3)-(5) известна дополнительная информация в точке $x_3 = 0$, отклик среды:

$$U^\lambda(0, t) = f(t) \quad (6)$$

Сформулируем постановки рассматриваемых нами обратных задач:

Задача 1. По известным значениям $\varepsilon(x_3)$, μ и дополнительной информации (6) (где: $\lambda = \lambda_0$ -фиксированно) определить $\sigma(x_3)$, U^{λ_0} из соотношений (3) — (5).

Задача 2. По известным значениям $\varepsilon(x_3)$, μ и дополнительной информации (6) (где: $\lambda = \lambda_0$ -фиксированно) определить $\varepsilon(x_3)$, U^{λ_0} из соотношений (3)-(5).

Задача 3. По известным значениям μ и дополнительной информации (6) (где: $\lambda = \lambda_1, \lambda_2$) определить $\varepsilon(x_3)$, $\sigma(x_3)$, U^{λ_1} , U^{λ_2} из соотношений (3)-(5).

При исследовании подповерхностных структур, в частности дорожного полотна, с физической точки зрения, можно предположить, что коэффициенты системы (1) не зависят от переменной x_1 . Это оправдывается тем, что дорожное полотно имеет геологический разрез расположенный слоями (пластами), причем заранее известными геоэлектрическими свойствами сред. Задача диагностики полосы, состоит в определении изменений этой среды, возникающих как правило вследствие природных факторов, либо иных повреждений. Последнее приводит к трещинам или просадке рабочей полосы, что может привести к аварии, или иным последствиям.

2. Оптимизационный метод решения обратной задачи

Конкретизируем постановку задачи в волновой постановке, сформулированной нами в подразделе 1.1. В области $Q = [0, L] \times [0, T]$ рассмотрим задачу об определении функции $v(x_3, t)$ из соотношений:

$$\varepsilon v_{tt} + \sigma v_t = \frac{1}{\mu} \frac{\partial^2 v}{\partial x_3^2} - \frac{1}{\mu} \lambda^2 v - g(x_3, t), \quad 0 < t \leq T, \quad 0 < x < L, \quad (7)$$

$$v|_{t=0} = 0, \quad v_t|_{t=0} = 0, \quad (8)$$

$$v_{x_3}|_{x_3=0} = \mu f_{(2)}(t), \quad v|_{x_3=L} = 0. \quad (9)$$

Здесь

$$g(x_3, t) = \delta(x_3) \delta(t).$$

Считаем, что все коэффициенты уравнения (7) гладкими функциями.

Пусть относительно решения прямой задачи (7)–(9) известна дополнительная информация:

$$v(0, t; \varepsilon) = f_{(1)}(t). \quad (10)$$

Обратная задача 1: По известной дополнительной информации (10) найти $\varepsilon(x_3)$ и $v(x_3, t; \varepsilon)$ из соотношений (7)–(9), (полагаем что известны σ , μ , g , λ^2).

Обратная задача 2: По известной дополнительной информации (10) найти $\sigma(x_3)$ и $v(x_3, t; \sigma)$ из соотношений (7)–(9), (полагаем что известны ε , μ , g , λ^2).

Пусть относительно решения прямой задачи (7)–(9) известны дополнительные информации:

$$v^{(\lambda_i)}(0, t; \langle \varepsilon, \sigma \rangle) = f^{(i)}(t), \quad i = 1, 2; \quad \lambda_1, \lambda_2. \quad (11)$$

Обратная задача 3: Найти пару функций $\langle \varepsilon(x_3), \sigma(x_3) \rangle$ и $\nu(z, t; \langle \varepsilon, \sigma \rangle)$ из соотношений (7)–(9) по известным дополнительным информациям (11) при $\lambda = \lambda_1, \lambda = \lambda_2$ (считаем, что известны μ, g).

Оптимизационный метод решения обратной задачи 1

Здесь и в дальнейшем будем считать, что $x_3 = z$, так как обычно в геофизике обозначают через z глубину, и положим для удобства $f_{(1)}(t) = f(t)$.

Пусть $p(z)$ – приближенное решение обратной задачи 1. Введем в рассмотрение квадратичный функционал:

$$J(p) = \int_0^T [\nu(0, t; p) - f(t)]^2 dt. \quad (12)$$

Минимизируем функционал (12) методом наискорейшего спуска. Пусть известно приближение $p^{(n)}(z)$, последующие приближения определим из:

$$p^{(n+1)}(z) = p^{(n)}(z) - \alpha_n \nabla J(p^{(n)}). \quad (13)$$

Здесь α_n – коэффициент спуска, а $\nabla J(p^{(n)})$ – градиент функционала.

Пусть коэффициенты уравнения (7) и функция $f(t)$ непрерывные функции, тогда градиент функционала (12) есть главная часть приращения функционала $\Delta J(p) = \langle \nabla J, \delta p \rangle_{L_2} + o(\|\delta p\|_{L_2}^2)$ и имеет вид:

$$\nabla J(p) = \int_0^T \nu_{tt}(z, t) \varphi(z, t) dt, \quad (14)$$

где функция $\varphi(z, t)$ – есть решение вспомогательной (сопряженной) задачи:

$$p(z) \varphi_{tt} - \sigma(z) \varphi_t = \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial}{\partial z} \varphi \right) - \frac{1}{\mu} \lambda^2 \varphi(z, t), \quad (z, t) \in Q. \quad (15)$$

$$\varphi(z, T) = 0, \quad \varphi_t(z, t)|_{t=T} = 0, \quad 0 \leq z \leq L. \quad (16)$$

$$\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} \varphi \Big|_{z=0} = 2[\nu(0, t; p) - f(t)], \quad 0 < t \leq T. \quad (17)$$

$$\varphi(L, t) = 0, \quad 0 < t \leq T. \quad (18)$$

Таким образом, алгоритм решения обратной задачи 1, выглядит следующим образом:

1. Задаем начальное приближение $p^{(0)}(z)$, и решаем прямую задачу (7)–(9), получим $\nu^{(0)}(z, t; p^{(0)})$.

2. Вычислим краевое значение (17) и решаем сопряженную задачу (15)–(18), получим $\varphi^{(0)}(z, t; p^{(0)})$.
 3. Вычислим градиент, по формуле (14), т.е. находим $\nabla J(p^{(0)}(z))$.
 4. Вычислим очередное приближение $p^{(n+1)}(z)$ по формуле (13).
 5. Проверим значение функционала (12), если он достиг минимума то переход к пункту 6, если нет, то полагаем $p^{(0)}(z) = p^{(n)}(z)$ и возврат к пункту 1.
 6. Полагаем приближение $p^{(n)}(z)$ – за приближенное решение обратной задачи.
- Считаем, что все коэффициенты уравнения (7) гладкими функциями.

3. Предварительная обработка сигналов

Данные георадара ОКО-2, необходимо предварительно обработать от различных шумов и помех, последнее связано с тем, что шумы возникают от иных сигналов, например от линии высоковольтных, от помех и саиого прибора, так как антенны прикреплены к автомобилю на расстоянии порядка 30 сантиметров и иных помех.

Приведем методику очистки сигнала на одном из примеров, проведенных в проспекте Туран г. Астаны 11.06.24 георадаром ОКО-2 с рупорной антенной АБ-1000Р, с частотой сигнала 1000 МГц.

Длина сканированного участка дороги 500 м.

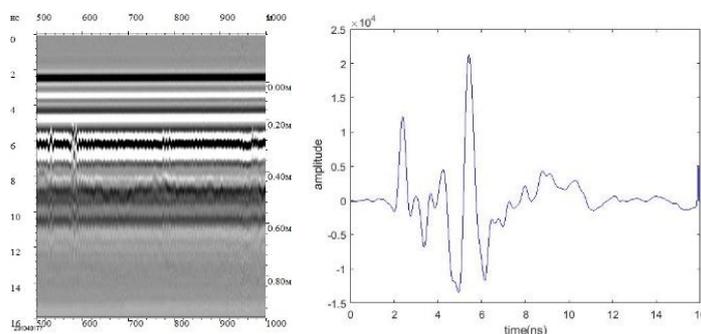


Рис. 1. Профиль исходной радарограммы

Рис. 2. График исходной 521 трассы

В профиле 3334 трасс измеренная с шагом 15см. Рассмотрим 521 трассу взятая из первой аномальной зоны профиля (первый всплеск).

Свойства трассы:

Период дискретизации 0.03125 нс

Частота дискретизации 32000 МГц

Длина сигнала 512

Время сканирования трассы 16 нс

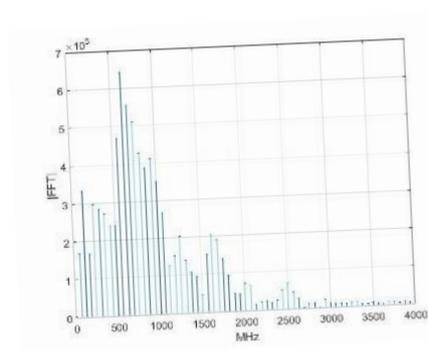


Рис. 3. Спектр исходной 521 трассы

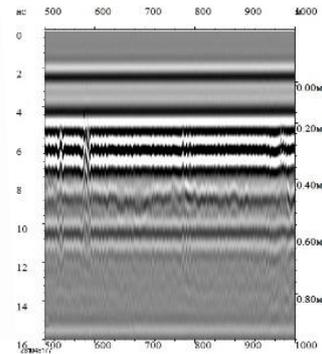


Рис. 4. Профиль после фильтрации

Радарограмма отфильтровано полосовым фильтром Баттерворта с полосой пропускания от 510 МГц до 1330 МГц.

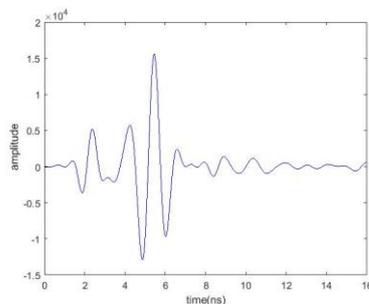


Рис. 5. График 521 трассы после фильтрации

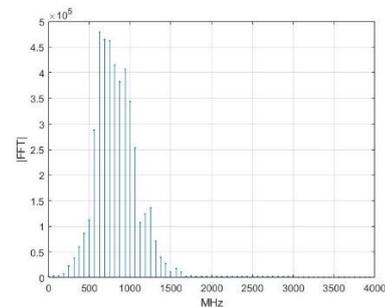


Рис. 6. Спектр 521 трассы после

Преобразование Гильберта для обработки сигналов георадара

Нами использовано преобразование Гильберта для обработки и определения характеристик сигналов георадар [28]-[30].

Определение максимумов модуля преобразования позволяет обнаружить контактные границы, на которых происходило отражение сигнала. Если в среде есть локальные включения, в виде гипербола, то применение преобразования Гильберта улучшить обнаружение этих кривых. При прохождении вдоль трассы кривые, образованные максимумами модуля преобразование Гильберта, позволят обнаружить форму отражающей поверхности.

Модуль преобразования дает распределение энергии в сигнале, так как преобразование Гильберта производит поворот по фазе преобразование Фурье сигнала на $\pi/2$.

Преобразование Гильберта функции $u(t)$ имеет вид:

$$H[u](t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(\tau) d\tau}{t - \tau} \quad (19)$$

Здесь интеграл понимается в смысле главного значения. Нами проедены расчеты для данных радарограмм дорожной одежды. На рисунке 1 показана типичная картина волнового поля и преобразования Гильберта для данной радарограммы дорожной одежды, полученной для четырехслойной среды с минимумом скорости в последнем слое.

Преобразование проводилось по дискретным формулам, основанным на связи преобразования Фурье с преобразованием Гильберта:

$$S(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} E(k\Delta t) \cdot \exp(-i2\pi kn/N), \quad n = 0, 1, \dots, N/2. \quad (20)$$

$$H(k\Delta t) = 2 \cdot \sum_{n=1}^{N/2} S(n) \cdot \exp(2\pi kn/N), \quad k = 0, 1, \dots, N. \quad (21)$$

Численные примеры расчета преобразований Гильберта

Рассмотрим модель среды дорожной одежды: 1-ый слой – асфальт (мелкозернистый и крупнозернистый), 2-ий слой – подушка из смеси мелкой щебенки с фракцией 0.4 и 7% цемента, 3-ий слой – подушка из крупной щебенки с фракцией 0.8, 4 слой - подстилающий слой – грунт (суглинка). Таблица 1 – представляет модель дорожной одежды.

Таблица 1 – Модель дорожной одежды

номер слоя	1	2	3	подстилающий слой
ε	2.6	10.0	6.5	30.0
σ (См/м)	0.00429	0.00842	0.00679	0.0146
z_k (м)	0.15	0.45	0.70	2.20

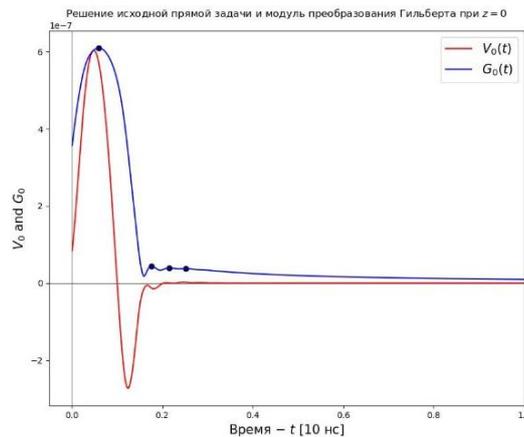


Рисунок 1 – Типичное преобразование Гильберта радарограммы дорожной одежды для четырехслойной среды с минимумом скорости в последнем слое

Согласно формулам (1)-(3) для расчета преобразования Гильберта сначала проводится дискретное преобразование Фурье сигнала, затем по преобразованию Фурье восстанавливается преобразование Гильберта. На рисунке 1. показана картина преобразования для четырехслойной рельефной среды с минимумом скорости в последнем слое (строение модельной среды показано на рисунке 2), где первая черная точка (локальные максимумы) является переход с воздуха на землю, а оставшиеся точки – границы перехода от одного слоя на другой.

В случае сильно выраженного рельефа в виде одиночной впадины как показано на рисунке 2, линия максимумов преобразования искажаются в впадинах рельефа и повторяют направление впадины рельефа, например, как на рисунке 3.

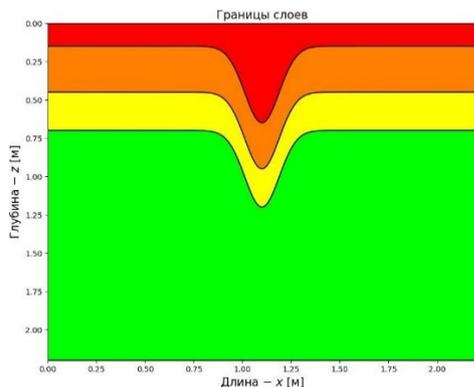


Рисунок 2– Модель среды с рельефно-слоистой подстилающей поверхностью



Рисунок 3 – Преобразование Гильберта для модели среды с рельефной четырехслойной подстилающей поверхностью

Разработанная программа была протестирована путем сравнения результатов с преобразованиями, реализованными в пакете numpy (python).

Выводы. Преобразование Гильберта является классическим инструментом в задачах обработки временных рядов. Как показывают расчеты для радарограмм, это преобразование позволяет выделить линии максимума энергии сигналов, что вносит вклад в улучшение качества интерпретации радарограмм.

Описание программы

Программа вейвлет обработки радарограмм позволяет просмотр профиля и графика трассы радарограммы. Выполняется расчет спектра исходной и очищенной трассы по алгоритму быстрого преобразования Фурье. Предусмотрено сохранение графиков в разных форматах.

Программа предназначена для первичной обработки георадарных данных и визуализации георадиолокационной информации, что облегчает интерпретацию радарограммы в георадиолокационных исследованиях. Программа спектрального анализа и вейвлет очистки трасс радарограмм дополняет интерпретацию результатов георадарных исследований с помощью фирменных ПО, поставляемых вместе с георадарами (рис. 1).

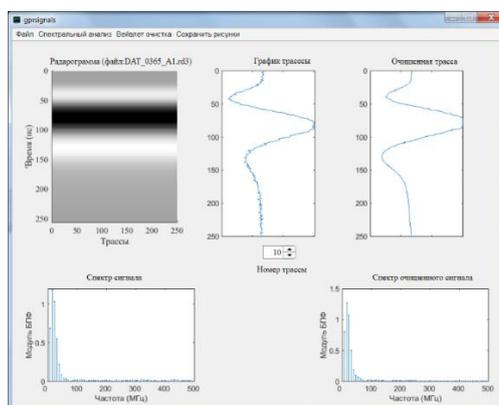


Рис. 1. Окно программы

Работа поддержана в рамках грантового финансирования МОН РК 2023-2025 по проекту AP 19680361

Список литературы

- 1 Романов В.Г., Кабанихин С.И. Обратные задачи геоэлектрики. – М: Наука, 1991, с. 303.
- 2 Кабанихин С.И., Искаков К.Т. Оптимизационный метод решения коэффициентных обратных задач. Новосибирск. Издательство НГУ. 2001, 316с.
- 3 Iskakov K.T., Tokseit D.K., OralbekovaZh.O., Mirgalikyzy T. Creation and testing of a new mathematical software for processing georadar data // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2019, Vol .7, issue 4.
- 4 J. R. Cannon and P. DuChateau, An inverse problem for an unknown source term in a wave equation, SIAM J. Appl. Math. Vol.43(3) (1983) 553-564.
- 5 M. Chapouly, M. Mirrahimi, Distributed source identification for wave equations: An off-line observer-based approach, Automatic Control, IEEE Trans. 57(8) (2012) 2076-2073.
- 6 J. Deguenon, G. Sallet, C.-Z. Xu, Infinite dimensional observers for vibrating systems, in Proc. IEEE Conf. on Decision and Control, (2006) 3979-3983.
- 7 V. Isakov, Inverse Source Problem, Mathematical Surveys and Monographs, Vol. 34, American Mathematical Society, 1990.
- 8 S.I. Kabanikhin, Inverse and Ill-Posed Problems. Theory and Applications, De Gruyter, Germany, 2011.
- 9 S.I. Kabanikhin, A. D. Satybaev and M. A. Shishlenin, Direct Methods of Solving Multidimensional Inverse Hyperbolic Problem, VSP, Utrecht, 2004.
- 10 S.I. Kabanikhin, K.T. Iskakov, Inverse and ill-posed problems for hyperbolic equations, Almaty, KazNPU, 2007 (in Russian).
- 11 L. Beilina and M.V. Klibanov, Approximate Global Convergence and Adaptivity for Coefficient Inverse Problems, Springer, New York, 2012.
- 12 Maarten V de Hoop, Justin Tittelfitz, An inverse source problem for a variable speed wave equation with discrete-in-time sources, Inverse Problems, 31(7), (2015) , 075007.
- 13 W.W. Symes Rakesh, Uniqueness for an inverse problem for the wave equation, Commun. Partial Diff., Eq. 13 (1988) 87-96.
- 14 V.G. Romanov, S.I. Kabanikhin. Inverse Problems for Maxwell's Equations. Utrecht, The Netherlands: VSP. 1994.
- 15 A. Tikhonov, V. Arsenin, Solution of Ill-Posed Problems, Wiley, New York, 1977.
- 16 A. Hasanov, Simultaneous determination of source terms in a linear hyperbolic problem from the final overdetermination: weak solution approach, IMA J. Appl. Math. Vol. 74 (2009), 1-19.
- 17 H.W. Engl, O. Scherzer, M. Yamamoto, Uniqueness and stable determination of forcing terms in linear partial differential equations with overspecified boundary data, Inverse Probl. Vol. 10 (1994), 1253-1276.
- 18 M. Yamamoto, Stability, reconstruction formula and regularization for an inverse source hyperbolic problem by a control method, Inverse Problems, Vol.11 (1995), 481-496.
- 19 R.H. Stolt, Migration by Fourier transform, Geophysics, Vol.43(1), (1978), 23-43.
- 20 Caner "Ozdemir, FevketDemirci, Enes Yiğit, and Betül Yilmaz, A Review on Migration Methods in B-Scan Ground Penetrating Radar Imaging, Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2014, Article ID 280738, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/280738>.
- 21 A.N. Tikhonov, D.N. Shamsuvarov, Method for calculating electromagnetic fields excited by alternating current in layered media, Doklady AN, ser. Geophysical, 1956, No. 3, 251-254
- 22 V.I. Dmitriev, General method for calculating the electromagnetic field in a layered medium, Computational methods and programming, Vol. 10, 1968, 55-65.

- 23 V.I. Dmitriev, E.A. Fedorova, Numerical studies of electromagnetic fields in layered media, Computational methods and programming, Vol. 32, 1980, 150-183.
- 24 A.L. Karchevsky, A numerical solution to a system of elasticity equations for layered anisotropic media. Russian Geology and Geophysics, Vol. 46(3), 2005, 339-351.
- 25 A.L. Karchevsky, The direct dynamical problem of seismics for horizontally stratified media. Siberian Electronic Mathematical Reports, Vol. 2, 2005, 23-61. <http://semr.math.nsc.ru/v2/p23-61.pdf>
- 26 A.L. Karchevsky, A frequency-domain analytical solution of Maxwell's equations for layered anisotropic media. Russian Geology and Geophysics, Vol.48(8), 2007, 689-695.
- 27 A.L. Karchevsky, B.R. Rysbayuly, Analytical expressions for a solution of convective heat and moisture transfer equations in the frequency domain for layered media, Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, Vol.3(4), 2015, 55-67.
- 28 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 420 с.
- 29 Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
- 30 Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1993. - 350 с.

*Казизат Такуадинович Искаков – д.ф.-м.н., профессор
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева;
010000, Казахстан, Астана; e-mail: kazizat@mail.ru*

СЕКЦИЯ 5

Нақты жүйелерді модельдеудегі оңтайландыру мәселелері

Оптимизационные задачи в моделировании реальных систем

Optimization problems in modeling real systems

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ВОДЫ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Алимжан кызы Ж., Кайрыев Н.Ж.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан

УДК 53.072

На основе математической модели микроволнового нагрева воды в стеклянной ёмкости, проводится расчёт характеристик воды и электромагнитного излучения в зависимости от подводимой мощности и размеров прямоугольной микроволновой печи.

Ключевые слова: микроволновое излучение, электромагнитная волна, вода, магнитная гидродинамика.

Модель. Математическое моделирование взаимодействия воды с микроволновым излучением проводится в [1-3]. В данной работе рассматривается прямоугольная микроволновая печь размерами $33 \times 31 \times 21$ см с волноводом $10 \times 8 \times 5$ см (рис.1). В центре печи находится стеклянный цилиндрический стакан диаметром 3.6 см и высотой 6 см, в которой находится вода при комнатной температуре $T = 20^\circ\text{C}$. Частота подаваемой электромагнитной волны 2,45 ГГц.

Проводится расчёт изменения характеристик дистиллированной воды в микроволновой печи при одностороннем подводе мощности электромагнитного поля. Процесс нагрева воды микроволновым излучением моделируется на основе уравнений магнитной гидродинамики (МГД) [3]:

$$\begin{aligned}\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) T \right) &= \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \vec{j} \cdot \vec{E} / 2 ; \\ \rho \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} \right) &= \nabla \cdot (\eta \nabla \vec{V}) - \nabla P + \vec{j} \times \vec{B} / 2 + \rho g , \\ \partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) &= 0 ; \\ \nabla \times \vec{E} &= -\partial \vec{B} / \partial t ; \quad \nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t ; \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho_e ; \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 .\end{aligned}$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0 : \quad T = 20^\circ\text{C}, \quad \vec{u} = 0$$

На стенках волновода:

$$(\vec{n} \times \vec{E}) = 0$$

В волноводе:

$$TE_{10} - \text{wave} : \quad \vec{E} = \vec{E}_{inc} + \vec{E}_{ref}$$

$$\vec{u} = 0$$

На внутренних стенках стакана:

$$-\vec{n} \cdot (k \nabla T) = 0$$

На внешних стенках стакана:

На границе воздуха и воды:

$$-\vec{n} \cdot (k \nabla T) = 0, \quad \vec{n} \cdot \vec{v} = 0$$

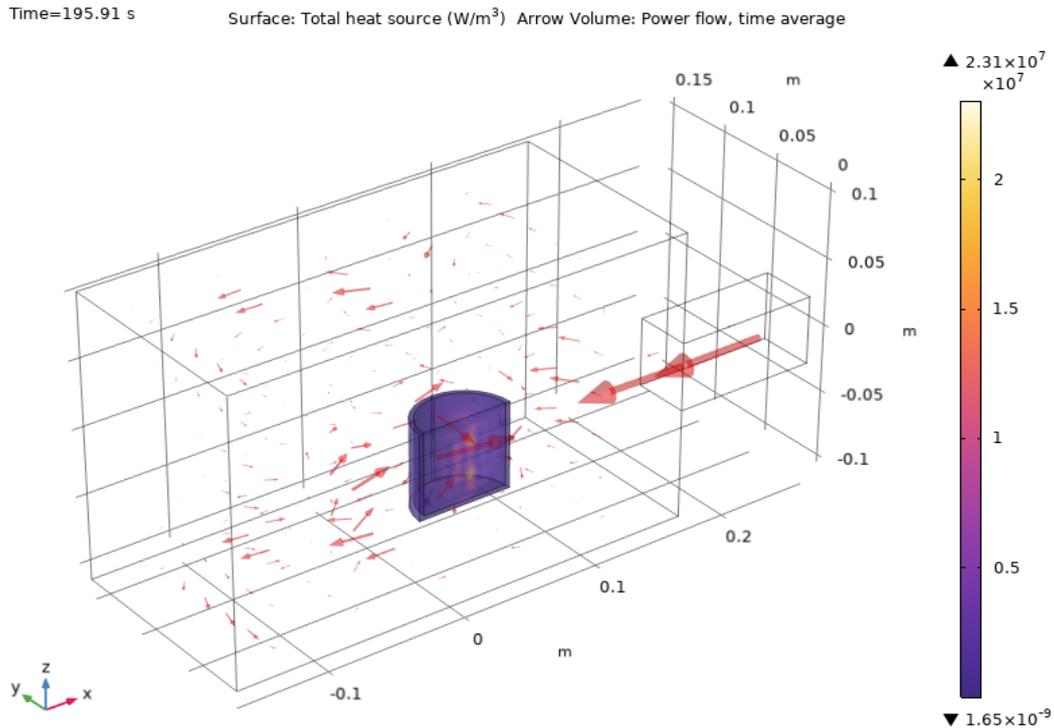


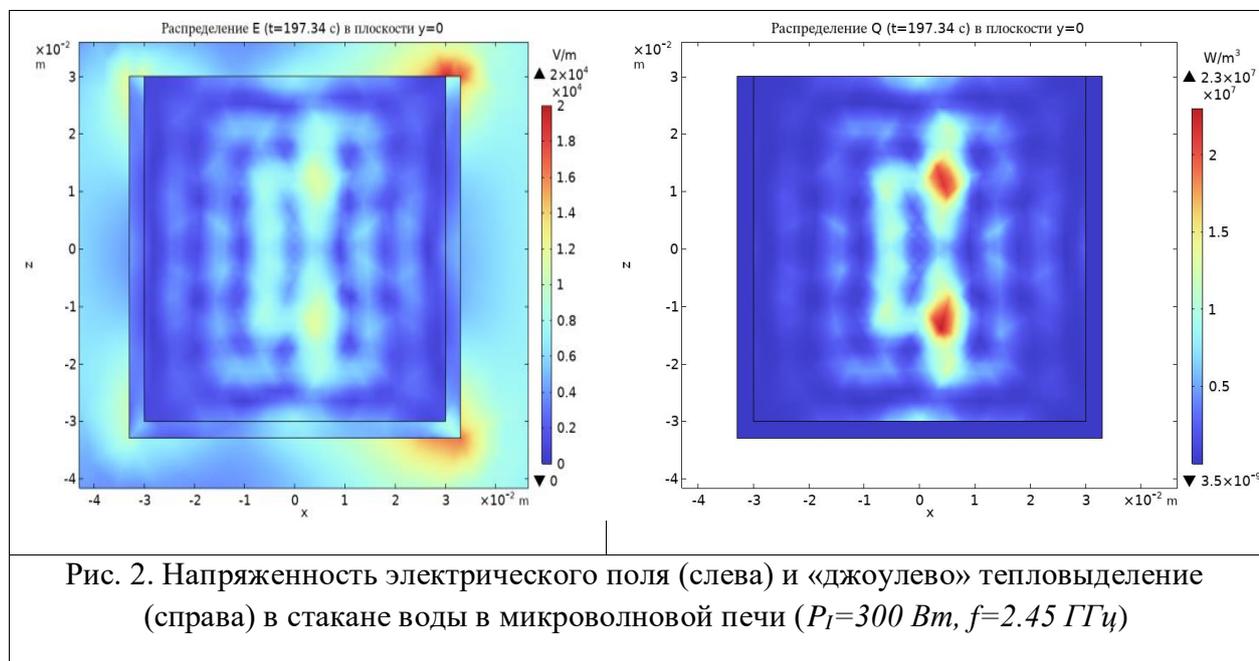
Рис. 1. Схема нагрева воды микроволновым излучением из волновода в камеру прямоугольной печи (стрелки – распространения вектора Умова-Пойнтинга)

Решение. Коэффициенты дистиллированной воды задаются из тех же источников, как и в работе [3]. Численная модель решения реализована на компьютере с помощью программной платформы COMSOL Multiphysics. Предполагается, что стенки волновода являются электрическими проводниками, а стеклянный стакан с тонкими стенками является диэлектриком для микроволнового излучения и поэтому в электромагнитной модели расчета он не учитывается. В микроволновой печи МГД уравнения решаются в прямоугольной системе координат в областях, занимаемых воздухом и водой. Нагрев воды микроволновым излучением происходит до того момента времени, пока вода не достигнет температура кипения (100°C).

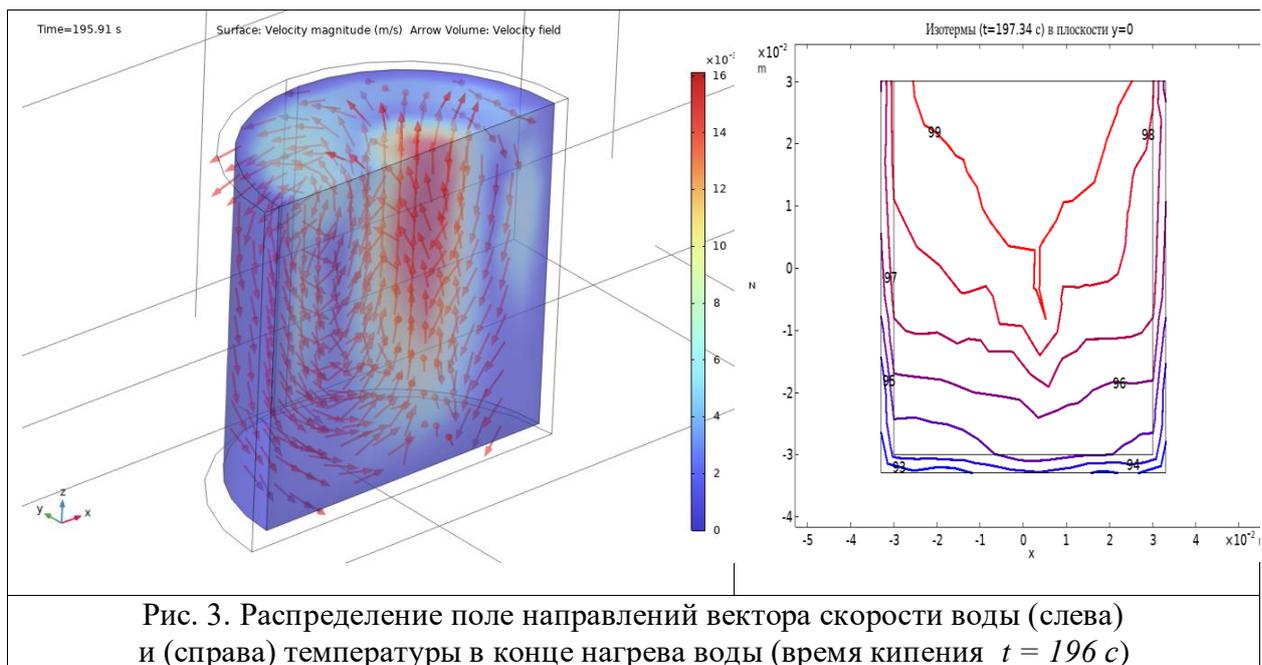
Результаты расчета: Подводимая в канал волновода электромагнитная волна взаимодействует с водой и стенками микроволновой печи. В результате суперпозиции подводимой из волновода, прошедшей сквозь воду, отраженной от стенок печи и стакана с водой, электромагнитная волна нагревает воду, находящуюся в стакане. Максимальное значение напряженности электрического поля реализуется в центре волновода (рис.2), а также на границах емкости вблизи волновода в сечении $y = 0$ в точках $z = \pm \frac{h}{2}$, $x = R$.

Видно из рис.2, что «джоулево» тепловыделение ($Q_E = \sigma |E|^2 / 2$), выделяется в основном в центре емкости в области с максимальным значением напряженности электрического поля и уменьшается по мере приближения к стеклянным стенкам. В данных областях происходит интенсивный нагрев воды вплоть до её кипения, а в остальных - вода остается практически холодной. Увеличение подводимой мощности микроволнового излучения обеспечивает ускорение скорости «джоулево» тепловыделения и уменьшение времени нагрева воды.

Диссипация микроволнового излучения при взаимодействии с водой составляет $\sim 22\%$ ($k_d \sim 0,22$), значительная часть излучения отражается от стенок печи и стеклянного стакана с водой $\sim 77\%$ ($k_r \sim 0,77$) и незначительная часть, примерно 1%, излучения проходит через емкость с водой ($k_t \sim 0,01$).



С учетом теплопроводности и конвективных гидродинамических потоков нагрев воды электромагнитным излучением происходит по всему объёму цилиндрической емкости. В начальный момент времени температура выделяется более интенсивно в областях с максимальным значением «джоулево» тепловыделения (рис.2). В следствие действия конвективных и кондуктивных потоков тепла, происходит нагрев воды в стакане. Отметим, что основную роль играют конвективные потоки тепла. Нагретая жидкость, имеющая меньшую плотность, всплывает вверх в поле тяготения Земли, растекается по поверхности к стенкам стакана, охлаждается по пути распространения и опускается вниз вдоль холодных стенок в глубину стакана. В стеклянном стакане формируется вихревая гидродинамическая картина течения жидкости (рис.3). Процесс продолжается до того момента, когда вода не достигнет температуры кипения.



К концу времени нагрева воды наблюдается более высокая температура в верхних слоях стакана (рис.3). Это связано с более интенсивным кондуктивным отводом потока тепла теплопроводностью из нижнего объема воды к стенкам дна камеры микроволновой печи. Более глубокие слои воды нагреваются гораздо медленнее, имеют более высокую плотность и остаются на дне стакана.

Выводы

Уравнения магнитной гидродинамики позволяют описать процесс распространения электромагнитной волны, взаимодействие и нагрева воды микроволновым излучением в прямоугольной печи.

В микроволновой печи наблюдается сложная картина суперпозиции подводимой, отраженной и прошедшей сквозь воду электромагнитной волны. На нагрев воды расходуется всего 22% от подводимой мощности электромагнитной волны.

При взаимодействии воды с электромагнитным излучением в центре стакана, образуются источники «джоулева» тепла и происходит формирование вихревой гидродинамической картины течения. Нагрев воды обусловлен в основном конвективными потоками тепла, а теплопроводность оказывает влияние на охлаждение воды у стенок стакана и придонных слоев жидкости.

Литература:

1. Кулумбаев Э.Б., Лелевкин В.М. Нагрев столба воды в круглом волноводе // Журнал: Вестник КРСУ. 2008. Т. 8. № 10. – С. 15–20.
 2. Козлов П.В. Моделирование микроволнового нагрева плоского слоя воды // Журнал: Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 3. – С. 37–43.
- Лелевкин В.М. Микроволновый нагрев воды. Бишкек: Изд-тво КРСУ, 2021. –211 с.
DOI: 10.36979/978-9967-19-768-8-2021

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

В.И. Ткачев¹, О.Д. Соколова¹

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

УДК 004.942

Аннотация. *Описаны возможности разработанного веб-приложения «Межрайонное движение» для моделирования транспортных потоков в условиях деления карты города на районы. Для решения задач оптимизации движения транспорта и расстановки объектов инфраструктуры была выбрана двухстадийная модель, включающая расчет матрицы корреспонденций между районами и распределение трафика по путям транспортной сети. При разработке приложения для создания пользовательских интерфейсов использовалась библиотека с открытым исходным кодом React, для визуализации графики и работы с данными использован набор инструментов визуализации данных библиотека D3.*

Ключевые слова: *транспортные потоки, оптимизация движения, имитационное моделирование.*

Введение

В последние годы в крупных мегаполисах очень заметен рост нагрузки на существующие транспортные системы, возникает необходимость принимать решения по развитию дорожной инфраструктуры, поиску оптимальных мест для новых развязок и размещения объектов. Авторы многих исследований замечают, что применение имитационного моделирования позволяет находить оптимальные решения в задачах повышения эффективности работы транспортной системы [1-4]. Обзор различных пакетов моделирования трафика движения транспорта предложен в [4]. Авторы сравнивают работы трех пакетов, которые наиболее популярны в Европе: AIMSUN (Transport Simulation System, Spain), PARAMICS (PARAllel MICROscopic Simulation, United Kingdom) и VISSIM (PTV AG, Germany). В подробном анализе отмечается, что современные пакеты воспроизводят реальную геометрию дорог, детально моделируют поведение транспортных средств, реализуют систему управления трафиком. Описывая возможности пакета AIMSUN, авторы отмечают, что передвижение транспортных средств реализуется двумя способами: либо по заданным маршрутам и процентному распределению потока, либо согласно заданной матрице корреспонденций. Матрица корреспонденций в рассматриваемом случае – это матрица, элементами которой являются значения количества передвижений между каждой парой транспортных районов. Матрицы корреспонденций можно детализировать по видам транспорта, длительности анализируемого интервала времени и целью поездки. При использовании матрицы корреспонденций маршрут определяется тремя способами: ранее заложенной информацией, пересчетом маршрута согласно матрице стоимостей, путем динамического пересчета в ходе моделирования [4]. Основа методов моделирования матриц корреспонденций заключается в том, чтобы по $2n$ параметрам (численности активного населения в n районах и рабочих мест в этих районах) определить n^2 параметров - матрицу корреспонденций. Модели расчета матрицы корреспонденций базируются на характеристиках районов и матрицах затрат (затраты на дорогу из одного района в другой: время, расстояние и т.д.) [5].

Задача межрайонного моделирования транспортных потоков относится к классу прогнозных. Основные цели применения имитационного моделирования в разработанной системе – тестирование алгоритмов, позволяющих моделировать движение транспортных средств; определение наиболее перегруженных участков сети; поиск оптимальных решений. Суть таких моделей заключается в расчете усредненных характеристик движения, таких как объем межрайонных передвижений, интенсивность потока, распределение потоков по путям и др. Прогнозные модели предназначены для моделирования транспортных потоков в сетях с известной геометрией и характеристиками, а также при известном размещении потокообразующих объектов города. Подобные модели могут применяться для поддержки принятия решений в области планирования развития города, анализа последствий различных мер по организации движения, выбора альтернативных проектов развития транспортной сети и других задач.

1. Постановка задачи

Для решения задачи имитационного моделирования транспортных потоков и поиска оптимальных маршрутов и оптимальной расстановки объектов была разработана система, состоящая из нескольких модулей:

- Модуль движения в условиях дорожных развязок (оптимизация движения транспорта в пределах транспортной развязки);
- Модуль оптимизации размещения и режимов работы дорожного регулирующего оборудования (размещение регулирующего оборудования);
- Модуль межрайонного движения (определение общих объемов передвижения между районами города, распределение трафика по путям);

Функциональные возможности программных модулей представлены на рисунке 1.

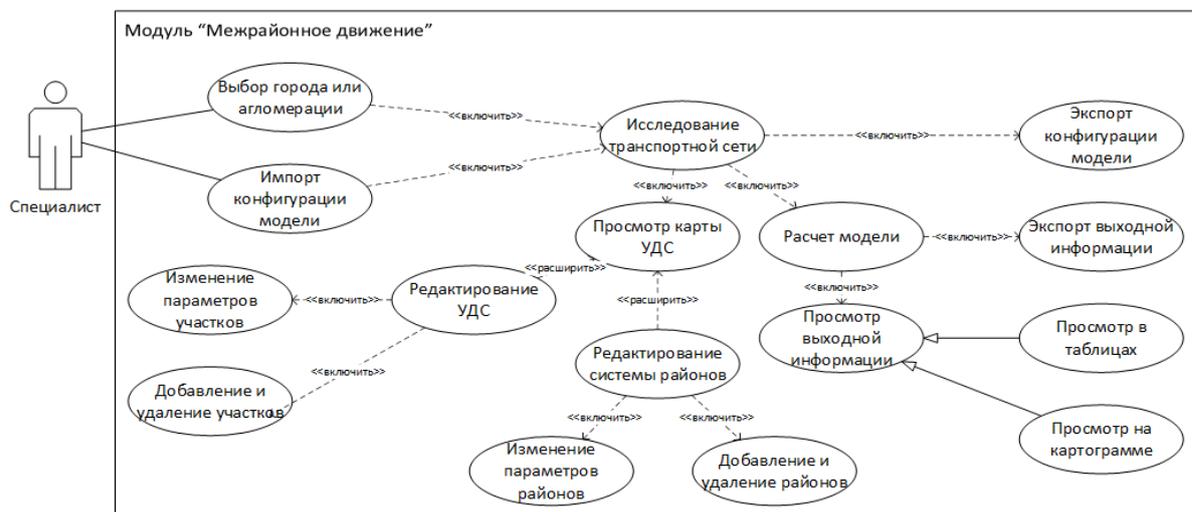


Рис. 1 Функциональные возможности модуля «Межрайонное движение»

С помощью тестирования различных ситуаций на имитационной модели можно прогнозировать последствия внесения различных изменений в транспортную инфраструктуру. Основными информационными и функциональными потребностями пользователей являются возможности по оценке влияния выполненных изменений, а именно прогнозы улучшения функционирования транспортной сети после введения в дорожную сеть новых участков, частичного или полного закрытия существующих

участков, изменения параметров участков, изменения характеристик источников и стоков корреспонденций, размещение новых или ликвидация существующих объектов.

2. Алгоритм решения задачи

Двухстадийная модель для расчета транспортных потоков описана в [6], авторы отмечают, что в работе приведены улучшения модели, которые повышают некоторые показатели – детализацию моделирования и скорость вычисления. Модель состоит из двух блоков, где первый – это модель расчёта матрицы корреспонденций, а второй – модель равновесного распределения транспортных потоков по путям.

Первому блоку предшествует этап предобработки графа улично-дорожной сети. На этом этапе добавляются фиктивные ребра в графе, соответствующие каждому из возможных направлений проезда развязок и перекрестков, а моделируемая область разделяется на районы.

Используя модель равновесного распределения потоков по путям, можно рассчитать матрицу затрат. По матрице затрат, в свою очередь, можно рассчитать равновесное распределение потоков по путям. Равновесием в двухстадийной модели транспортных потоков называют неподвижную точку цепочки из этих двух моделей. Для решения задачи поиска неподвижной точки был выбран способ сведения задачи поиска описанного равновесия к единой задаче выпуклой негладкой оптимизации. Этот способ, а также метод его численного решения описан в работе [6].

Входными данными является информация о дорогах, местах жительства и местах сосредоточения населения. Поступают эти данные в программное средство в виде json объектов, полученных в результате запроса к Overpass API (Application Programming Interface). Over-pass API - это интерфейс для запроса данных из базы OpenStreetMap, который позволяет получать информацию с учетом заданных критериев [7]. Промежуточными данными являются объекты, которые хранят информацию о дорожном графе, его ребрах и узлах, районах города. Выходными данными являются веб-страницы, картограммы, файлы для экспорта. В качестве источника картографических данных используется сервис OpenStreetMap, а для запроса информации из него – интерфейс Overpass API.

Для расчета двухстадийной модели необходимо иметь данные об общих объемах отправления и прибытия транспорта в районах города, схему дорожного графа и информацию о передвижении транспорта между районами. Для определения общих объемов отправления и прибытия транспорта выполняется запрос к API на получение данных о всех жилых объектах (географическое расположение, тип жилого здания и количество этажей). Имея данные, можно сформировать районы и выбрать для них центры – источники и стоки корреспонденций, тем самым получив векторы отправления и прибытия транспортных средств. Для выбора источников и стоков город разбивается на районы сеткой переменного размера и в каждом районе выбирается по одной вершине-источнику и вершине-стоку.

3. Численные расчеты блоков модели

Для численного расчета первого блока двухстадийной модели используется алгоритм Синхорна [8], применение этого алгоритма в задачах транспортной оптимизации описано в [9]. Для расчета второго блока используется алгоритм универсального метода подобных треугольников, в статье [10] авторы дают его подробное описание и применение для поиска равновесий в транспортных сетях

Блоки двухстадийной модели «вложены» один в другой, т.е. энтропийная модель расчёта матрицы корреспонденций (первый блок) – это внешний цикл, а модель равновесного распределения потоков по путям (второй блок) – внутренний цикл. Таким образом, на каждую итерацию модели равновесного распределения потоков приходится один расчет обновлённой матрицы корреспонденций. Оба цикла выполняются до тех пор, пока не будет найдена неподвижная точка.

Архитектура программного модуля состоит из следующих основных компонентов, связанных между собой и определяющих логику работы программного модуля: динамическая библиотека для расчета модели; графический редактор; компонент начальной страницы приложения, на которой происходит взаимодействие с API картографического сервиса; компонент, отвечающий за транспортное районирование.

Двухстадийная модель написана на языке Rust и собрана в библиотеку, которая скомпилирована в Java Script-модуль при помощи технологии Web Assembly.

4. Заключение

Моделирование движения транспорта, поиск оптимальных решений для безопасного движения в мегаполисах является важной и перспективной научной областью, которая определяет развитие транспортных систем современных городов. С помощью имитационного моделирования можно тестировать транспортные сети города – как существующие, так и перспективные, анализировать загруженность участков дорог, находить оптимальные решения для улучшения дорожного движения.

Разработанное средство имитационного моделирования «Межрайонное движение» может применяться для решения задач оптимизации движения транспорта в городской среде – нахождения оптимального движения транспорта между районами с учетом расположения зданий, объема межрайонных передвижений и других условий.

Графический редактор представляет собой удобный и интуитивно понятный инструмент для визуализации как вводимых данных, так и полученных решений, что является не-обходимым условием при разработке новых транспортных маршрутов и мест размещения объектов транспортной инфраструктуры на карте мегаполиса.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН FWNM-2022-0005.

Список литературы

1. Потапова И.А., Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р. Методы моделирования транспортного потока. *Фундаментальные исследования*, 2016, № 10-2, с. 338–342.
2. Кузнецов Т.А. Оптимизация движения транспортного потока на регулируемом перекрестке с использованием имитационного моделирования. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 07(72). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-808>
3. Малыханов А. А., Кумунжиев К. В., Черненко В. Е. Среда имитационного моделирования транспортных систем // *Материалы 4-ой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию ИММОД 2009*. Санкт-Петербург.
4. Яцкив М. В., Юршевич Е. А., Колмакова Н. В. Использование возможностей имитационного моделирования для анализа транспортных узлов // *Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2005)*. Сборник докл. 2-й Всерос. конф. Т. 2. – СПб. С. 237–245.
5. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников [и др.] // М.: МЦНМО, 2013. 2-е изд. С. 428.

6. Котлярова Е.В., Северилов П.А., Ивченков Я.П., Мокров П.В., Чеканов М.О., Гасникова Е.В., Шароватова Ю.И. Ускорение работы двухстадийной модели равно-весного распределения потоков по сети // Компьютерные исследования и моделирование, 2022, т. 14, № 2, с. 343-355.
7. Overpass API wiki [Электронный ресурс] / URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API/
8. Cuturi M. Sinkhorn distances: Lightspeed computation of optimal transport. // Advances in neural information processing systems — 2013. — P. 2292–2300
9. Иванова А. С., Омельченко С. С., Котлярова Е. В., Матюхин В. В. Калибровка параметров модели расчета матрицы корреспонденций для г. Москвы // Компьютерные исследования и моделирование. — 2020. — Т. 12, № 5. — С. 961–978.
10. Баймурзина Д. Р., Гасников А. В., Гасникова Е. В. и др. Универсальный метод поиска равновесий и стохастических равновесий в транспортных сетях // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 2019. - Т. 59, № 1. - С. 21-36.

*Кирилл Валерьевич Ткачев – м.н.с. Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail: tkachev@sscc.ru;
Ольга Дмитриевна Соколова – с.н.с. Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
630090, Новосибирск; e-mail: olga@rav.sccc.ru*

СОВМЕСТНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕГИОНА

С.А. Мустафин

Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

УДК 332.1

Аннотация. Одним из направлений деятельности человека является исследование состояний природных и техногенных объектов с целью обеспечения определения состояния окружающей среды региона, безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Природные и техногенные катастрофы обуславливают необходимость расширения множества приемов, методов исследования и оценок состояния объектов. При решении задачи определения изменений состояний объектов по мониторинговым данным региона основной целью является сравнение описаний его пространственно-временных состояний. В статье рассмотрен вопрос совместной оценки изменения состояния окружающей среды по его частичным описаниям, предложена процедура оценки изменения состояния среды на временном интервале.

Ключевые слова: мониторинг, контроль, оценка изменения окружающей среды.

Состояние окружающей среды определяется множеством его свойств, каждое из которых выражено в качественных и/или количественных показателях по региону, отнесенных к некоторому фиксированному моменту времени. Свойства окружающей среды изменяются в результате внутренних процессов и/или взаимодействия с внешними факторами. При описании состояния окружающей среды региона необходимо сформулировать цель определения состояния и, в зависимости от поставленной цели, из множества свойств (показателей, характеристик) окружающей среды выбрать экспертно те, которые необходимы для его описания поставленной цели [1].

Материал работы относится к проблемам выбора и сравнения состояний динамического объекта для осуществления комплексного контроля состояния объекта окружающей среды по разнородной информации и может быть применен в системах диагностики и управления для получения достоверной информации о изменениях состояния объекта исследования.

При решении задачи определения состояний окружающей среды по его описаниям основной целью является описание его пространственно-временного состояния окружающей среды, которое в полной мере характеризуется положением в пространстве описаний во времени.

Обеспечение оценкой состояния окружающей среды связано с решением совокупности задач, относящихся к различным областям деятельности - экологического, социально-экономического, управленческого, технологического характера. В этот список входит задача обеспечения безопасности техногенных систем, решение которой дает информацию о пространственно-временном состоянии окружающей среды региона. Как известно абсолютную безопасность техногенной деятельности обеспечить невозможно и поэтому появляется необходимость оценивать меру изменения состояния окружающей среды, т.е. совместное оценивание последствий в различных областях среды. Этим обосновывается важность темы исследований.

В предлагаемой работе рассмотрена проблема изменения состояния окружающей среды в пространстве ее показателей во времени. Цель работы направлена на создание системы мониторинга и контроля процессов окружающей среды региона, позволяющей

вести постоянный удаленный мониторинг и помощь в подготовке и принятии управленческих решений для своевременного предупреждения нежелательных ситуаций и их возникновения, последствий, снижение затрат на восстановление среды. Отмечено, что каждый показатель окружающей среды региона в отдельности определяет состояние частично, только одну ее сторону описания, и не может быть глобальной оценкой состояния среды всего региона.

Несмотря на множество методов оценивания изменений состояний объектов на временном интервале, каждый из методов приводит к различным результатам. Это можно объяснить тем, что математическая модель, лежащая в основе того или иного явления, предполагается абсолютно достоверной, а ее свойства при выборе уровня адекватности реальности окончательного решения предоставляется экспертам разработки. Поэтому расширение множества методов оценки изменения окружающей среды на временном интервале является необходимым и актуальным [4, 5].

Один из необходимых элементов разработки методов оценки изменения окружающей среды на временном интервале приходится на выбор показателей окружающей среды, измеренных в разных шкалах, и введение скалярного интерпретирующего функционала состояния окружающей среды региона. Что касается выбора показателей окружающей среды региона в данный интервал времени, то его осуществляют эксперты-экологи.

Среди множества задач оценки окружающей среды выделяют задачу определения пространственно-временного состояния окружающей среды. Для ее решения необходим систематический контроль состояний объектов. Существуют разнообразные методы контроля, каждый из которых имеет свои условия применения и цели. Для контроля пространственно-временного состояния объектов необходимы данные об их свойствах во времени. К ним относятся и положение в пространстве и другие свойства, характеризующие взаимное расположение множества точек объекта относительно внешней среды и относительно друг друга. Выполнить непосредственное измерение таких свойств чаще всего затруднено и поэтому для их определения применяют методы математического моделирования [1]. Исходными данными для моделирования служат временные ряды координат множества точек исследуемого объекта, полученные по результатам повторных циклов наблюдений. Анализируя результаты моделирования свойств объекта, можно судить о его состоянии, оценивать изменения этого состояния и принимать необходимые мероприятия для снижения риска возникновения нежелательных аварийных состояний, сопровождающихся не только значительным материальным ущербом, но и человеческими жертвами и связанных с полным или частичным разрушением объекта. Нарушение безопасности жизни рассматриваемого региона можно было бы предвидеть при постоянном и своевременном выполнении работ по наблюдению и анализу состояния региона [4, 5].

Отметим, что среди множества методов описания признаков объектов отдают предпочтение параметрическим методам, которые позволяют моделировать ситуации с той или иной системой показателей на временном интервале наблюдения свойств объекта.

В связи с появлением новых возможностей получения и обработки пространственной информации об объектах, основанных на использовании современных, аппаратных технологий, стало возможным определять, и как следствие, анализировать изменение пространственного положения объекта в целом, используя формальные процедуры анализа, а не выводить суждение об изменении состояния окружающей среды региона по отдельным выбранным показателям или их частям.

Моделирование целостной картины изменения пространственно-временного состояния окружающей среды региона на временном интервале, основанное на формальных методах и процедурах, является часто единственно возможным выходом.

Исходными данными для моделирования служат временные ряды показателей исследуемого объекта на временном интервале. Для контроля пространственно-временного

состояния окружающей среды региона необходимы данные об их свойствах, как функциях времени. К ним относятся и положение окружающей среды региона как объекта в пространстве выбранных показателях. Выполнить непосредственное измерение свойств среды даже современными техническими средствами не всегда удаётся по причине недостаточного технического обеспечения и поэтому для определения целостной картины изменения пространственно-временного состояния окружающей среды региона необходимо применять подход, используемый в распознавании образов и нашедший широкое применение в различных областях знаний. Необходимость разработки новых подходов к решению так поставленных задач является ответом на возникшие практические задачи.

Использование математического моделирования с привлечением методов интеллектуальной обработки данных позволяет решать задачи, как показывает практика, давая зачастую лучший результат, нежели решения, основанные на классических сложных математических моделях [1, 2].

Основными недостатками применяемых методов для оценки изменения окружающей среды являются односторонность описания объекта рассмотрения и необходимость построения индивидуальных градиентных зависимостей по результатам исследований окружающей среды. Цель предлагаемого нами подхода – построение метода сравнения состояний окружающей среды региона за счет использования структуры данных по состояниям окружающей среды во времени. Технический результат предлагаемого нами заключается в повышении достоверности совместной оценки изменения состояния объекта исследования с оперативным определением относительной величины и характера изменения его состояния.

Задача модели – повышение достоверности и оперативности оценки изменения состояния окружающей среды региона.

Содержательная запись предлагаемого метода состоит в следующем. Методика оценки изменений состояния сложного динамического объекта по измерениям параметров объекта в моменты времени состоит, по крайней мере, из четырех этапов и заключается в их исполнении [2, 3]:

выбор параметров состояний окружающей среды региона в момент времени t ;
измерение параметров состояний окружающей среды региона в моменты времени t_1 и t_2 соответственно;

нормализация значений параметров состояния объекта окружающей среды по интервалам изменения выбранных параметров описания среды региона;

оценка изменения состояний среды региона согласно следующему решающему правилу: оценка изменения между состояниями объекта окружающей среды равна средней от суммы приведенных отклонений по выбранным параметрам изучаемой среды.

Таким образом, изложенное и приведенная последовательность этапов обработки данных окружающей среды региона показывает возможность моделирования изменений пространственно-временного состояния окружающей среды по данным мониторинговым наблюдениям по региону.

Работа выполнялась в рамках программно-целевого финансирования за № BR10965172 «Космический мониторинг и ГИС для количественной оценки засоленности почв и деградации сельскохозяйственных угодий».

Литература

1. Дородницын А.А. Проблема математического моделирования в описательных науках. Кибернетика. 1983.- 4, 6–10.

2. Журавлев Ю. И. Избранные труды, М.: Магистр, 1998, 568 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций, М.: Наука, 1975. 610 с.
4. Байконуров О.А. Классификация и выбор методов подземной разработки месторождений, Алма-Ата: Наука, 1969. 606 с.
5. Аленичев В. М. Системная оценка изменений технологических систем при недропользовании // Вестник ГИАБ. — 2020. — № 5.

*Мустафин Салим Абдрашитович – к.т.н., доцент,
преподаватель Казахского национального университета имени аль-Фараби*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

С.А. Мустафин, А.К. Козбакова, А.Д. Кумарханов, О.С. Шарип

Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

УДК 519.6

Аннотация. *Материал статьи относится к области радиотехники, к способам определения местоположения источника радиоизлучения. В предлагаемом определении местоположения источника радиоизлучения, включающем измерение напряженности электромагнитного поля, прием радиосигналов источника радиоизлучения на заданной частоте, преобразование радиосигнала из аналоговой в цифровую форму, далее измеряют напряженность электромагнитного поля в точках выбранного участка, точку с наибольшим значением напряженности принимают за центр нового участка, и далее таким же образом приближаются к местоположению источника радиоизлучения.*

Ключевые слова: *напряженность электромагнитного поля, окрестность случайного поиска, источник излучения.*

Изложенное в статье относится к области радиотехники, к способам определения местоположения источника радиоизлучения.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является способ определения местоположения источника радиоизлучения, основанный на измерении напряженности поля на местности перемещением устройства по свободной траектории, и определения по полученным данным вектора градиента электромагнитного поля от исследуемого источника излучения в различных точках на местности. Координаты пересечения векторов градиента электромагнитного поля принимают за координаты местоположения исследуемого источника радиоизлучения, определенные из совокупности измеренных значений напряженности электромагнитного поля и географических координат точек измерения, полученных путем перемещения измерителя по свободной траектории в зоне радиодоступности источника излучения.

Способ инвариантен к техническим характеристикам радиоприемного устройства и антенны, частоте излучения, поляризации и виду модуляции принимаемого сигнала [1].

Указанный способ является разновидностью определения местоположения источника радиоизлучения методом триангуляции с помощью одного, перемещающегося в пространстве пеленгатора. Основным его недостатком является необходимость доступа ко всему полю, создаваемого источником излучения, что вызывает значительные сложности определения и затраты на передвижение прибора и является проблемой [2].

Задачей предлагаемой модели является разработка способа определения местоположения источника радиоизлучения, который позволит осуществлять поиск источника излучения посредством перемещения измерений по возможной окрестности доступной области приема радиосигналов источника излучения.

Для этого в способе определения местоположения источника радиоизлучения, включающем измерение напряженности электромагнитного поля, прием радиосигналов источника радиоизлучения на заданной частоте, преобразование радиосигнала из аналоговой в цифровую форму, согласно модели измеряют напряженность электромагнитного поля в точках выбранного локального участка, ограниченного окружностью, точку с наибольшим значением напряженности принимают за центр нового локального участка, ограниченного окружностью с таким же радиусом, и далее таким же образом определяют следующие локальные участки и определяют источник.

Предлагаемый способ определения местоположения источника радиоизлучения осуществляют следующим образом.

Принимают радиосигналы источника радиоизлучения на заданной частоте, преобразуют радиосигнал из аналоговой в цифровую форму, измеряют напряженность электромагнитного поля, записывают результат в запоминающее устройство, измеряют географические координаты точки измерения, записывают результаты измерения координат в запоминающее устройство.

В процессе перемещения устройства измерения по случайным точкам локальной окрестности с центром в точке зоны радиодоступа сигналов от источника излучения, несколько раз осуществляют для каждой точки совокупность следующих процедур:

- измеряют напряженность электромагнитного поля в точках выбранного локального участка, ограниченного окружностью, и записывают данные в запоминающее устройство;

- точку с наибольшим значением напряженности принимают за центр нового локального участка, ограниченного окружностью с таким же радиусом, и далее таким же образом определяют необходимые последующие участки, записывают данные напряженности и географические координаты;

- определяют местоположение источника.

Устройство определения местоположения источника радиоизлучения состоит из приемника с аналого-цифровым преобразователем и антенной, устройства навигации, блока обработки, устройства управления и отображения результатов.

Точность определения местоположения источника излучения не зависит от линейности амплитудно-частотной характеристики приемного тракта. В качестве приемной антенны может быть применена любая антенна, в том числе активная малогабаритная, обеспечивающая прием радиосигнала в данной точке на требуемой частоте.

Способ определения местоположения источника радиоизлучения, включающий измерение напряженности электромагнитного поля, прием радиосигналов источника радиоизлучения на заданной частоте, преобразование радиосигнала из аналоговой в цифровую форму, отличающийся тем, что измеряют напряженность электромагнитного поля в точках выбранного локального участка, ограниченного окружностью, точку с наибольшим значением напряженности принимают за центр нового локального участка, ограниченного окружностью с таким же радиусом, и далее таким же образом определяют следующие локальные участки, и таким образом приближаясь к определению источника излучения.

Таким образом, предложен способ определения местоположения источника излучения, позволяющий осуществлять поиск источника излучения посредством перемещения измерений напряженности электромагнитного поля по окрестности области приема радиосигналов источника радиоизлучения до решения задачи по определению местоположения источника излучения.

Литература

1. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Монография – Минск: Наука и техника, 1978, С. 148.

2. Величко Е.В. Способ аналитического определения координат источника излучения в однородной среде // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2015, № 5-6, 64-66

*Кумарханов А.Д. – магистрант, 2 курс,
Казахский национальный университет им. аль Фараби Казахстан, Алматы
Email: sam@ipic.kz*

СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Дж.О. Усенканов, Н.М. Бакирова

Кыргызский государственный университет имени Ж. Баласагына

УДК 519.63:533.9

Аннотация. В работе, на основе системы МГД уравнений, рассмотрены потоки электродуговой плазмы, генерируемые сварочным плазмотроном. Обнаружено, что в области больших расходов газа, которые названы предельными, происходит потеря устойчивости решения системы уравнений. Анализ экспериментальных данных позволяет предполагать, что потеря устойчивости решения происходит вблизи перехода ламинарного режима течения в турбулентное.

Ключевые слова: неустойчивость решения, электродуговая плазма; ламинарный, турбулентный режим течения; число Рейнольдса.

Введение

Существенное влияние на структуру течения оказывают параметры дугового разряда, геометрия канала, состав плазмообразующего газа, способы его подачи в канал и др. Несмотря на определенные успехи в развитии теории устойчивости ламинарных течений газа [1], до сих пор не исследованы критерии, определяющие возникновение турбулентности в каналах электродуговых генераторов плазмы [2].

Из-за нелинейности и магнитогидродинамических уравнений и наличия малых параметров при старших производных возникают определенные проблемы как при их аналитическом рассмотрении, так и при численном эксперименте. Вместе с тем, при заданных стационарных условиях в задаче о течении газа в канале существует стационарное решение уравнений гидродинамики, которое реализуется при любых числах Рейнольдса [3]. Это подтверждается и многочисленными экспериментами, когда путем уменьшения возмущений на входе в канал можно “затянуть” до очень высоких чисел Re переход от ламинарного режима течения к турбулентному [4]. Такие «идеальные» условия течения описываются стационарными уравнениями Навье-Стокса при соответствующем выборе граничных условий. Однако не всякое решение уравнений может осуществиться на практике. Это связано с тем, что все реально существующие стационарные течения должны не только удовлетворять уравнениям гидродинамики, но должны еще быть устойчивыми по отношению к малым возмущениям. Если же возникающие в потоке газа сколь угодно малые возмущения стремятся возрасти со временем, то движение становится неустойчивым и существовать в стационарном виде не может. Подобная зависимость наблюдается и при течении газа в канале плазмотрона [5]: при малых скоростях потока дуга горит устойчиво и реализуется стационарное течение, а с увеличением расхода (скорости ввода газа в канал) устойчивость нарушается, и стационарное течение не реализуется. Очевидно, что наличие в канале полостей, уступов, диафрагм и т.п., играющих роль естественных факторов возмущения, ограничивает возможность осуществления устойчивого ламинарного течения при увеличении расхода газа. Это должно приводить к реализации четкой границы раздела между ламинарным и турбулентными режимами течения, как в натуральных, так и в вычислительных экспериментах.

Известно, что в задачах обтекания тел жидкостью при $Re \sim 10^3 - 50$ течение является безотрывным, при $Re \leq 300$ течение в следе остается стационарным, но за обтекаемым телом

образуется пара присоединенных вихря (двухмерная задача), при увеличении $Re \sim 100 \div 10000$ в следе за телом развиваются периодические колебания (вихревая дорожка Кармана).

В работе [6] обобщаются экспериментальные и теоретические исследования обтекание тел электропроводящей жидкостью в магнитном поле. В частности, на основе экспериментальных исследований показано, что совершенно аналогичная смена характера течения наблюдается, если на поток с определенным числом Re воздействовать последовательно возрастающим магнитным полем. Подавление нелинейных эффектов под воздействием внешнего поля наблюдается и для течения электропроводящей жидкости в трубе.

В работах [7-9] проведены экспериментальные и численные исследования потоков элек-тродуговой плазмы сварочного плазматрона в зависимости от расхода плазмообразующего газа. Показано, что в свободной области столба дуги, с увеличением расхода газа, наблюда-ется переход ламинарного течения в турбулентный режим. На основе двумерных МДГ урав-нений в переменных "вихрь-функция тока" тока показано, что при определенных условиях не удается достичь сходимости разностной задачи.

1. Постановка задачи

В данной работе на основе двумерных МДГ уравнений с использованием естественных (скорость-давление) переменных проводится расчет характеристик электродугового потока плазмы сварочного плазматрона. Плазмообразующий газ радиально подводится в область дугового разряда между рабочим торцом катода и верхним срезом сопла, разогревается в канале и выходит в свободное пространство в виде плазменного потока с последующим рас-теканием у поверхности плоского анода. Цель работы: сравнить результаты расчетов в пе-ременных "вихрь-функция тока" и в естественных переменных; определить область устой-чивости численного решения при изменении расхода газа и силы тока, и установить для за-данной геометрии их предельные значения, удовлетворяющие условиям перехода ламинар-ного режима течения в турбулентное течение.

Для описания течения и нагрева газа предполагается, что протекающие процессы ста-ционарны, течение ламинарное и, излучение объемное, плазма находится в состоянии ло-кального термодинамического равновесия. Система МГД уравнений непрерывности, Навье-Стокса, баланса энергии, Максвелла и закон Ома, записываются в виде [10]:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0,$$

$$\rho(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\nabla \left(P + \frac{2}{3} \eta \nabla \cdot \vec{V} \right) + 2 \nabla \cdot (\eta \dot{S}) + \vec{j} \times \mu \vec{H},$$

$$\rho C_p (\vec{V} \cdot \nabla) T = \vec{V} \cdot \nabla P + \vec{j} \cdot \vec{E} + \nabla \cdot (\lambda \nabla T) - \psi,$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0, \quad \nabla \times \vec{H} = \vec{j},$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

Система дополняется интегральными соотношениями сохранения тока дуги и расхода газа:

$$I = 2\pi \int_0^R j_z r dr, G = 2\pi \int_0^R \rho u r dr$$

и зависимостями коэффициентов переноса и теплофизических свойств плазмы от температуры и давления [1].

Обозначения:

$\vec{V}(v, 0, u)$ – скорость,

$\vec{j}(j_r, 0, j_z)$ – плотность электрического тока,

$\vec{E}(E_r, 0, E_z), \vec{H}(0, H_\phi, 0)$ – напряженности электрического и магнитного полей,

T, P – температура и давление,

μ – магнитная постоянная,

\dot{S} – тензор скоростей деформаций,

$\rho, \sigma, \lambda, \eta, \psi, C_p$ – соответственно плотность, электропроводность, теплопроводность, вязкость, излучательная способность и удельная теплоемкость.

Индексы r, z, ϕ – соответствуют осям цилиндрической системы координат,

R – значениям на стенке.

При численном решении МГД уравнений в физических переменных система приводится к дивергентной форме и, с учетом осевой симметрии, записывается в цилиндрической системе координат в обобщенном виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(C_\phi v \phi - D_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(C_\phi u \phi - D_\phi \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) = S_\phi,$$

где переменная $\phi = (T, \chi = rH_\phi, v, u, P)$ и значения нелинейных коэффициентов C_ϕ, D_ϕ, S_ϕ устанавливаются из соответствия исходным МГД уравнениям. При этом закон Ома и уравнения Максвелла сводятся к уравнению для функции электрического тока $\chi = rH_\phi$.

Граничные условия для каждой зависимой переменной ($\phi = v, u, P, T, \chi$) задаются по замкнутому контуру, ограничивающему ее расчетную область. Начальные распределения скорости и функции электрического тока на входе в канал определяются из решения одномерных МГД уравнений по заданным значениям силы тока, расхода газа, геометрическим параметрам канала и температуры газа $T = T_R$. На охлаждаемых стенках канала и электродах используются условия прилипания и непроницаемости, на оси – условия симметрии. На свободной границе используются условия нормального втекания-вытекания газа, давление атмосферное. Вблизи поверхности катода используются экспериментальные данные по распределению температуры и радиусу привязки дуги к электроду. Размеры и расположение анодной привязки дуги, распределения плотности тока и температуры плазмы вблизи электрода устанавливаются в процессе численного решения как результат самосогласованного взаимодействия тепловых, электромагнитных и газодинамических характеристик.

Обозначения: $\vec{V}(v, u, 0)$ – скорость, T – температура, h – энтальпия, P – давление, $\vec{H}(0, 0, H_\phi)$ – напряженность магнитного поля, $\vec{j}(j_r, j_z, 0)$ – плотность электрического тока, μ – магнитная постоянная, $\rho, \sigma, \lambda, \psi, \eta, C_p$ – соответственно плотность, электропроводность, теплопроводность, излучательная способность, вязкость и удельная теплоемкость при постоянном давлении, R – внешний радиус канала. Индексы r, z, ϕ – соответствуют осям цилиндрической системы координат, R – стенке, k – катоду.

2. Алгоритм решения задачи

Решение дифференциальных уравнений проводится методом конечных разностей. Дискретизация уравнений осуществляется на неравномерной сетке методом контрольного объема. В дискретных аналогах уравнений коэффициенты переноса на гранях контрольных

объемов определяются гармонически средним значением, что позволяет вести расчет тепловой задачи непрерывным образом, включая электрод и стенки канала, с автоматическим выполнением условий сопряженного теплообмена на границе раздела сред. При решении разностных уравнений используются методы итераций, нижней релаксации и прогонки в радиальном направлении.

3. Численные расчеты

Для расчета характеристик дугового потока задаются (рис. 1): $G=100-250$ мг/с, $I=50-100$ А, $TR=300$ К, давление на выходе $P_0=0,1$ МПа, длина и радиус канала 6 мм, $R=1.5$ мм, меж-электродное расстояние 10 мм, радиус привязки дуги к катоду $R_k=1$ мм. В качестве плазмо-образующего газа используется аргон и углекислый газ.

Рассмотрим устойчивость полученных решений в области предельных значений силы тока и расхода газа (отметим, что сходимость к решению при $G>200$ мг/с, $I=70$ А достигалась выбором параметра нижней релаксации $0,05-0,1$).

Как показывают вычислительные эксперименты, при расходах $G \leq 210$ мг/с ($I=70$ А) малые возмущения численного решения быстро затухают и не нарушают картину течения, что указывает на устойчивость полученного решения. При этих условиях формирование потока определяется в основном молекулярными эффектами и величины молекулярной вязкости достаточно, чтобы сделать эти течения гидродинамически и численно устойчивыми.

Другая картина наблюдается при $G>210$ мг/с: в процессе итераций возмущения нарастают и существенно изменяют структуру течения. В итерационном цикле формирование параметров потока носит хаотически осциллирующий характер. Такое «нестационарное» поведение промежуточных решений не соответствует исходной математической модели, а алгоритм расчета теряет свои демпфирующие свойства. Это значит, что при $G>210$ мг/с ($I=70$ А) молекулярный диссипативный механизм не обеспечивает сходящегося решения, а величины вязкости уже недостаточно для стабилизации ламинарного течения, и оно становится турбулентным. Появление осциллирующих решений в результате роста малых возмущений можно рассматривать как переход к турбулентности. Подобное развитие турбулентности получено в работах [11-13] при числах $Re>Re_{кр}$. Зона осцилляций характеристик дугового потока заметно проявляется в зоне свободного течения, а внутри канала, где дуга сильно обжата стенками, структура течения не изменяется и эта область наиболее устойчива по отношению к гидродинамическим возмущениям.

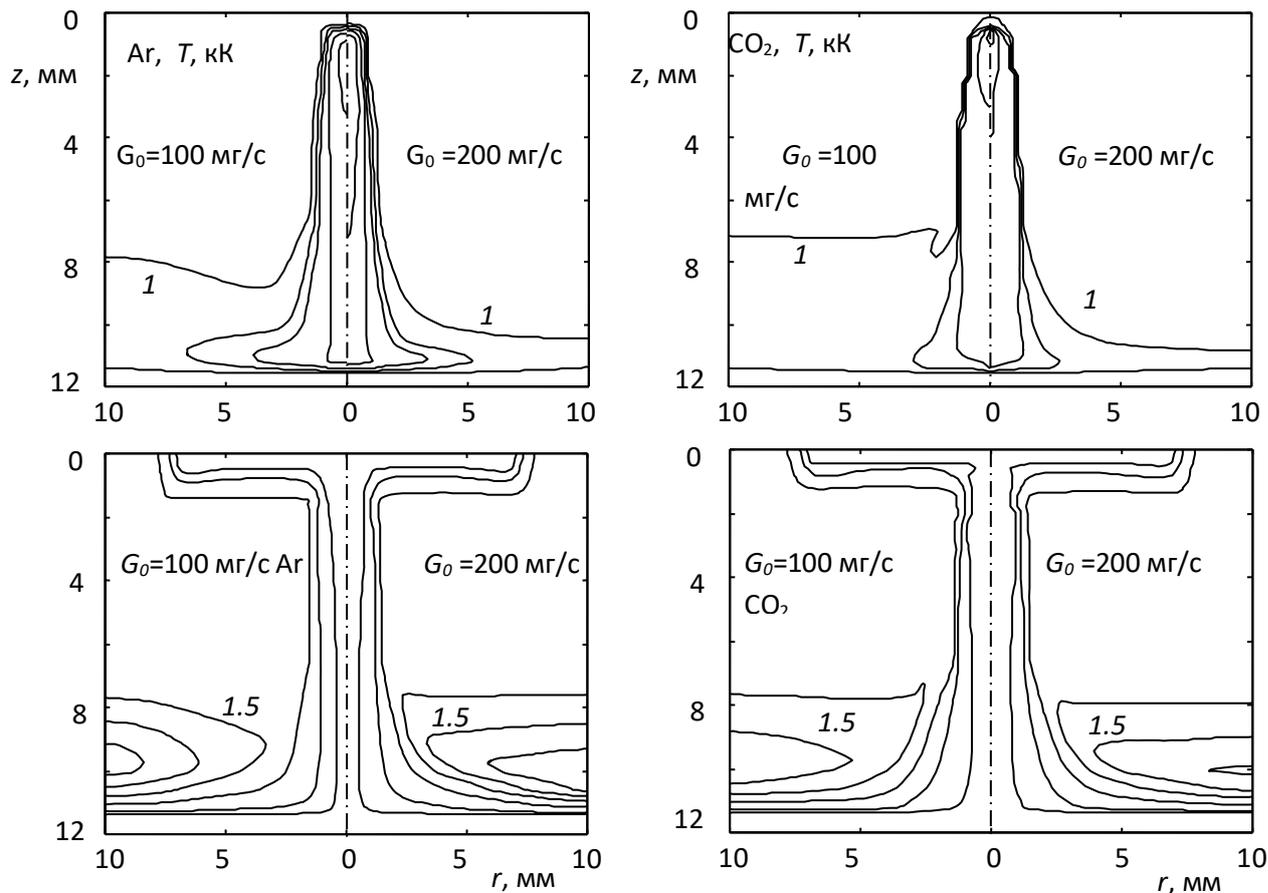


Рис. 1. Линии тока газа ($G/G_0 = 0.05, 0.3, 0.9, 1.5, 2, 2.5$) и изотермы дуги ($T = 1, 5, 10, 15, 20$ кК) в аргоне и в углекислом газе; $I = 70$ А.

Увеличение силы электрического тока дуги ($I > 70$ А), а значит и собственного магнитно-го поля, приводит к ламинаризации потока. Электромагнитные силы совместно с вязкими силами возрастают по сравнению с силами инерции, и приближение Стокса хорошо описывает течение реального потока электродуговой плазмы.

4. Заключение

Сравнение результатов экспериментальных и численных исследований показывает, что собственное магнитное поле электрической дуги, как и в случаях с электропроводящей жидкости во внешнем магнитном поле, стабилизирует поток электродуговой плазмы. Численный анализ на основе различных методов решения МГД уравнений подтверждает потерю устойчивости ламинарного течения при увеличении расхода газа ($I = \text{const}$) и при уменьшении силы тока ($G = \text{const}$). Полученные предельные значения этих параметров полученные как в случае решения в переменных "вихрь – функция тока», так и в физических переменных хорошо согласуются между собой и с экспериментом.

Сравнение с экспериментальными данными позволяют интерпретировать обнаруженные эффекты, как возможность в ходе численных экспериментов определять область применимости предложенной математической модели. Математическая модель при этом не претендует на описание турбулентных течений.

Список литературы

1. Бегчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости. – М.: Мир, 1971.
2. Левитан Ю.С. О критических режимах течения в цилиндрическом канале со стабилизи-рованной стенкой дугой // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1986. - № 16, Вып. 3. – С. 74-80.
3. Артемов В.И., Левитан Ю.С., Синкевич О.А. Неустойчивости и турбулентность в низко-температурной плазме. М.: МЭИ, 1994. – 412 с.
4. Синкевич О.А. Исследования по физике и технике низкотемпературной плазмы // ТВТ, 1998. –Т. 36, № 4. –С. 660-673.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. – 840 с.
6. Цинобер А.Б. МГД обтекание тел. "Зинатне", Рига, 1970. -291 с.
7. Sadyrov K. A, Usenkanov D. O., Jainakov A, Nishio K. To interaction of the electric arc with the molten metal. Satellite Venture Business Laboratory. Kyushu Institute of Technology. №8, june, 2007. Japon.
8. Усенканов Дж.О., Акмолдоева, С.Б. Сейталиева С.Ч., Садыров К.А. Об устойчивости решения электродугового разряда сварочного плазматрона. Известия Кыргызского гос-ударственного технического университета им. И. Раззакова, № 24, 2011
9. Усенканов Дж.О., Жайнаков А., Сейталиева С.Ч. Роль магнитного поля дуги в стабилизации потока электродуговой плазмы. Известия Кыргызского государственного техни
10. А.Жайнаков, В. М. Лелевкин, В. С. Мечев и др. Электрическая дуга–генератор низко-температурной плазмы. - Бишкек: Илим, 1991.- 373
11. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат. - 1984. - 152 с.
12. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: Наука, 1984. – 520 с.
13. Должанский Ф.В., Кляцкин В.И., Обухов А.М., Чусов М.А. Нелинейные системы гидро-динамического типа. – М.: Наука, 1974.

*Джумабай Осмонбекович Усенканов – к.ф.-м.н., заведующий кафедрой
теоретической и общей физики Кыргызского
Государственного университет имени Ж. Баласагына
720033, Бишкек; e-mail: juma_21@mail.ru;*

*Нурзат Медеткановна Бакирова - преп. кафедры теоретической и общей
физики Кыргызского Государственного университет имени Ж. Баласагына
720033, Бишкек; e-mail: b.nurzat_89@mail.ru*

МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

В. Вуйцик^{1,2}, П. Кисала^{1,2}, А.У. Калижанова^{1,3}, А.Х. Козбакова^{1,4}, М. Кунелбаев^{1,5},
Ж.С. Айткулов^{1,6}, Л.Ш. Черикбаева^{1,5}, А.У. Утегенова^{1,3}, Т. Орманов¹

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,

²Люблинский технический университет,

³Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,

⁴Алматинский технологический университет

⁵Казахский национальный университет имени аль-Фараби

⁶Казахский национальный женский педагогический университет

УДК 004.3

Аннотация. В данной статье представлен метод измерения двух составляющих изгибающей силы и температуры с использованием одной сенсорной головки. Применяется косвенный вывод, сделанный на спектрах двух волоконных брэгговских решеток, помещенных на консольной балке. Метод был разработан в ходе работы над обратной задачей определения неравномерного распределения напряжений на основе спектров ВБР. Градиент в профиле напряжений волоконной брэгговской решетки приводит к характерной форме его спектра отражения. Одновременное измерение силы и температуры стало возможным из-за подходящего расположения сенсорной головки. Спектральные характеристики решеток датчика не сохраняют совершенной симметрии, что обусловлено геометрией головки датчика и связанной с этим разницей в распределении осевых напряжений на решетках. В предлагаемом подходе изменение ширины суммы нормализованных спектров пропускания использовалось для определения величины приложенной силы. В представленном методе получено повышение чувствительности этого изменения к силе по сравнению с другими известными системами. Наблюдалось изменение ширины спектра при увеличении изгибающих усилий от 0 до 150 Н. Для целей данной работы была спроектирована установка с термокамерой и кронштейном, на котором были установлены волоконно-оптические преобразователи для применения в будущих измерениях. Сенсорная головка в этом эксперименте считается как универсальное устройство с возможным использованием в других разновидностях оптических датчиков и может рассматриваться как модуль для разработки путем ее мультиплексирования на одном оптическом волокне.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики, волоконные брэгговские решетки, датчики температуры.

Введение

Прогноз состояния систем SHM (Structural health monitoring -SHM) обширно применяется в гражданских сооружениях, таких как мосты, трубопроводы, дамбы и туннели, для под-держания рабочей сохранности и продления срока службы за счет увеличения их прочности и надежности. Волоконно-оптические датчики с незначительными размерами, малым весом, стабильностью к электромагнитным помехам ЕМІ (electromagnetic interference -ЕМІ), ржавчине и способностью к встраиванию показали неотъемлемые им преимущества для интеграции в гражданские конструкции. В последние годы для прогноза состояния систем было предложено большое число новых сенсорных

технологий на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД) (ВОД-fiber-optic sensor- FOS). Волоконно-оптические датчики обладают рядом преимуществ, среди которых наиболее важными являются устойчивость к электромагнитным возмущениям и возможность их встраивания в измеряемую конструкцию, высокая чувствительность, большое расстояние, мультиплексирование и распределенный монито-ринг. ВОД имеет возможность измерения деформации, смещения и температуры по всей длине волокна. В [1,2] для измерения распределенных деформаций по всей протяженности волокна были предложены датчики на базе волоконной решетки Брэгга, датчики на базе рефлектометрии (рассеяние Рэлея и Бриллиона) и датчики на основе интерферометрии (Фабри-Перо) и Мах-Цендера. В работах [3,4] разработали датчики рефлектометрии, бази-рующиеся на принципе оптической рефлектометрии в скоротечные зоны OTDR (Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) — прибор для измерения параметров волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП)), которые годятся для непрерывных замеров на огром-ных расстояниях). В [5] разработали датчик с волоконной брэгговской решеткой (ВБР) (ВБР-Fiber Bragg grating- FBG), который создан на сдвиге длины волны Брэгга, благодаря изменению температуры, деформации и вибрации в окружающей среде. В статье [6] датчик Фабри-Перо применяет напряженность интерференционных сигналов, излучаемых между двумя синхронными отражающими интерфейсами, для измерения температуры и давления. Датчик Маха-Цендера устроен на изменении напряженности фазового сдвига, освещаемого двумя лучами, разбитыми от одного источника света [7]. Датчики FBG обладают множе-ством превосходств для дополнений прогноза состояния конструкций, таких как небольшой вес, несколько датчиков в одном волокне, надежность к агрессивным средам (температура, химические компоненты), долгосрочная устойчивость и долговечность. В [8] рекомендован новый индикатор повреждения для обнаружения отказов путей перегрузки для систем с несколькими маршрутами нагрузки на базе реакции на деформацию, измеренной датчиками FBG. В [9] применяли датчик звуковой эмиссии FBG для показывания локализации повреждений в ламинатах из углепластика (CFRP). В статье [10] применяли датчик FBG для обнаружения утечек в водопроводных трубах. В работе [11] применяли датчики FBG для оценки остаточного напряжения, появляющегося в гладких термопластичных композитных ламинатах во время скоростных производственных процессов. В исследовании [12] применяли датчики FBG для нахождения места удара интенсивной композитной панели с использованием способа триангуляции. В [13] рекомендовали новоиспеченный метод, сделанный на вибрации, с применением датчиков FBG для обнаружения повреждений в гражданских системах и прогноза их состояния. В [14] применяли два датчика FBG для синхронного измерения скорости потока и температуры в трубопроводе. В работе [15] представили новый датчик FBG, интегрированный в бетонные конструкции, для прогноза температуры во время пожаров. В исследовании [16] предложили новый датчик трения в проеме прокатки, сделанный на измерении деформации FBG, для оценки контактного усилия в движении прохлад-ной прокатки. Во многих технических приложениях синхронное установление деформации и температуры чрезвычайно важно, например, при работе в конструкциях самолетов [17] и лопастях ветряных турбин [18] и управлении научно-техническими процессами нефтехими-ческих заводов [19]. Большинство волоконно-оптических датчиков, используемых для SHM, восприимчивы как к деформации, так и к температуре, что приводит к нежелательной пере-крестной восприимчивости между данными двумя параметрами [20]. Одним из практиче-ских подходов, используемых для различения деформации и температуры, представляется применение разнообразных технологий измерения, таких как сочетание датчика FBG с ком-бинационным рассеянием света [19]. В [21] интегрировали комбинационное рассеяние и рассеяние Бриллюэна для синхронного измерения деформации и температуры. В статье [22] применяли сдвиг частоты Бриллюэна и двойственное лучепреломление, чтобы разграничи-вать деформацию и температуру. В

[23] рекомендовали метод, сочетающий оптическую ре-флектометрию во временной области (OTDR) и измерения двулучепреломления для оценки температуры и деформации. В работе [24] представили новую теорию измерения, основанную на волоконно-оптическом датчике, интегрированном в ламинированные композиты, для синхронного измерения температуры и деформации. Все перечисленные выше подходы могут привести к солидному повышению цены и сложности сенсорной системы.

Целью создания измерительной системы было одновременное измерение силы и температуры. Для этого была спроектирована станция с термокамерой и в дальнейших измерениях использовался кронштейн, на котором крепилась решетка.

1. Методика исследования

Выполнение одновременных измерений силы и температуры стало возможным благодаря использованию сенсорной системы. Использовался косвенный метод измерений с использованием информации спектра однородной брэгговской решетки, помещенной на подставку. Схема измерительной системы измерения измеряемых величин (составляющих силы, действующих в двух направлениях, перпендикулярных оси решетки) представлена на рисунке 1.

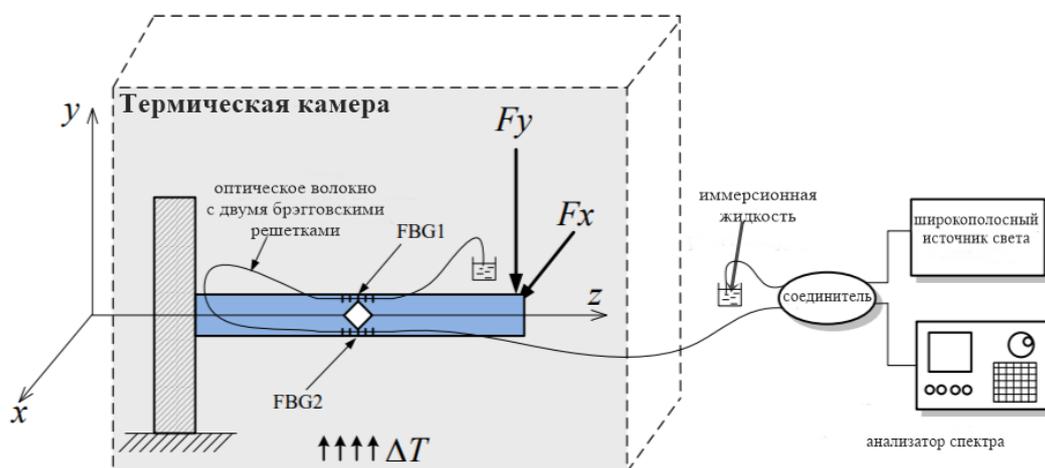


Рис. 1. Блок-схема измерительной системы, используемой для одновременного измерения температуры и силы, действующей по двум осям x и y

Свет от широкополосного источника света направлялся через оптоволоконный соединитель 50:50 на одномодовое волокно с двумя однородными брэгговскими решетками, расположенными на нем. Решетки записывались с помощью одной и той же фазовой маски на оптоволоконне с водородной накачкой и располагались с двух сторон: FBG1 - вверху и перед кронштейном, и FBG2 - внизу и сзади кронштейна. Элементы FBG были приклеены к металлической опоре-образцу вместо вырезанного лазером отверстия.

На рисунке 2 показана деформация кантилевера из-за приложения силы, действующей по оси y. На рисунке 3 показаны результаты напряжения кантилевера из-за силы, действующей по оси x.

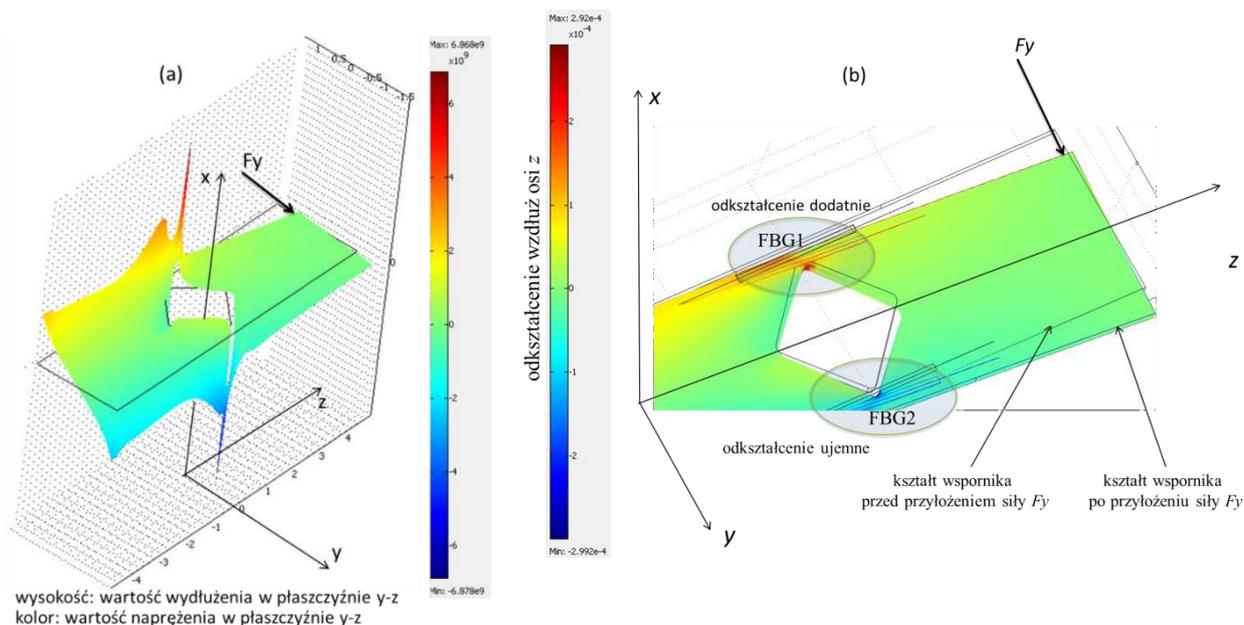


Рис. 2. Результаты расчета осевой деформации кронштейна датчика FBG, вызванной силой по оси y (а) деформация и напряжение в плоскости x-y, (б) отмечены области с положительной и отрицательной осевой деформацией решеток Брэгга

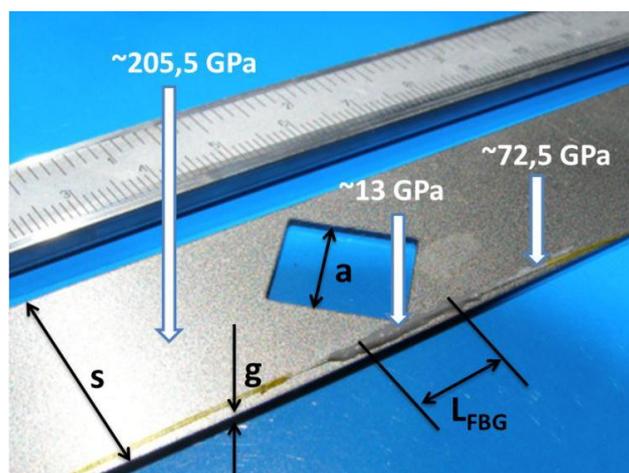


Рис. 3. Фотография датчика (подставка с решеткой, приклеенной клеем Сикадур-30). Черные маркеры - маркировка характерных размеров, Белые маркеры - значения модулей Юнга металлического кронштейна, клея и оптоволокна от FBG

Значения величин, отмеченных на рисунке 3, были следующими: $s=25\text{мм}$, $a=15\text{мм}$, $g=1\text{мм}$, $L_{\text{FBG}}=10\text{мм}$.

Требования к стальным опорам в виде их стандартизированных размеров и сравнительно высокая точность формы вырезаемых отверстий и их расположения потребовали их изготовления с использованием лазерной технологии. Для этой цели использовался CO₂-лазер класса 4 (TRUMPF TC L 4030), соответствующий стандарту EN 60825-1.

Предлагаемая сенсорная система используется для измерения силы, поэтому целесообразно использовать твердые материалы с высоким значением модуля упругости, чтобы можно было измерять значительные механические нагрузки. Вышеизложенное предположение потребовало использования опоры из стали, модуль Юнга которой составлял 205

ГПа. Для разработки данного метода измерений была проведена предварительная оценка коэффициента передачи напряжений в зависимости от модуля Юнга клея. Установлено, что клей с коэффициентом Юнга выше 10 ГПа позволяет сохранить характер напряжений, передаваемых от кронштейна к решетке Брэгга. Для экспериментальной проверки возможности использования предложенного метода одновременного измерения температуры и силы был использован клей Sikadur-30 с модулем Юнга 13 ГПа. Определить величину осевой деформации в решетках удалось методом конечных элементов. Значение напряжения в оптоволокне при различных силах, действующих вдоль оси u , показано на рисунке 4.

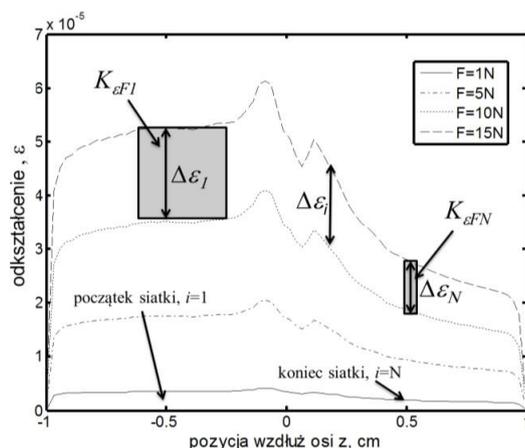


Рис. 4. Характеристики осевой деформации оптического волокна, помещенного в положение FBG1 определены методом конечных элементов с учетом модуля Юнга кронштейна, клея и оптического волокна. Серые области обозначают диапазоны постоянной чувствительности в начале и конце решетки

2. Результаты

На основании полученных результатов расчета, представленных на рисунке 4, был определен коэффициент чувствительности к осевой деформации.

Оптоволокно $K_{\varepsilon Fi}$ к поперечной силе, действующей по оси 0 -у, приложенной к опоре:

$$K_{\varepsilon Fi}(z) = \frac{\Delta\varepsilon_i(z)}{\Delta F} \quad (1)$$

где i — индекс, обозначающий положение вдоль оси оптического волокна, при этом $i = 1, \dots, N$, в свою очередь 1 означает начало решетки, а N означает ее конец. $\Delta\varepsilon_i$ — изменение значения осевой деформации, вызванное изменением силы для заданного положения по длине решетки. Чувствительность осевой деформации зависит от положения вдоль оси z (ось волокна брэгговской решетки). Величина чувствительности изменения осевой деформации к поперечной силе, изменяющейся по оси 0 -у в диапазоне от 10 Н до 15 Н, в начале решетки составляет $K_{\varepsilon F1} = 36\mu\varepsilon/N$, а при его конце, $K_{\varepsilon FN} = 14\mu\varepsilon/N$ следовательно:

$$K_{\varepsilon F1} \neq K_{\varepsilon FN} \quad (2)$$

это означает, что решетка будет испытывать chirp в результате ее неравномерной деформации, вызванной постоянной силой, действующей по оси 0 -у. На рисунке 4 также показаны постоянные диапазоны чувствительности в начале и конце решетки. На рисунке 5 показана форма осевых деформационных характеристик оптоволокна в местах размещения решеток, определенная методом конечных элементов.

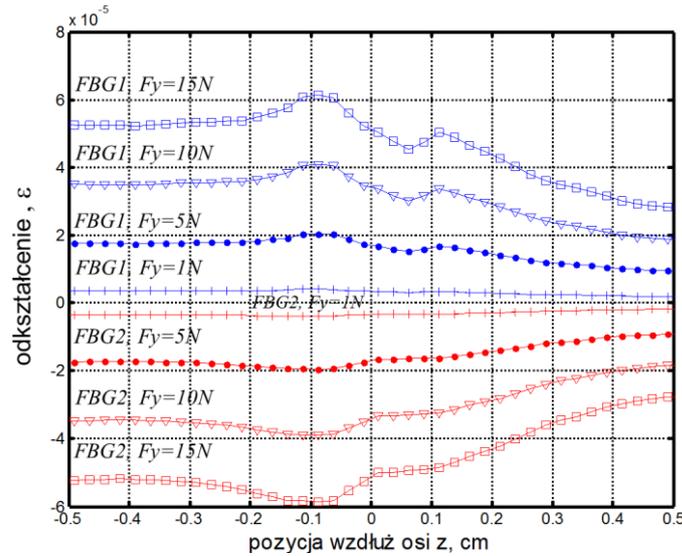


Рис.5. Значения деформации решетки датчика FBG1(характеристики показаны синими линиями) и FBG2 (характеристики показаны красными линиями) для разных значений боковой силы, действующей по оси 0-y

Согласно чертежу и предположениям метода, используемого для одновременного измерения боковой силы и температуры, одна из решеток (в данном случае FBG1) растянута - как видно на рисунке 5, представляющая положительные значения деформации. Однако вторая сенсорная решетка (FBG2) подвергается сжатию, что видно на рисунке 5, где деформация FBG2 отрицательна. Размещение решеток в сужении кронштейна и приложение усилий приводит к возникновению стрекотания решеток в результате их неравномерной деформации. Образование чирпа приводит к уширению спектральных характеристик пропускания обеих решеток. Значения изменения периода решетки имеют разный знак для двух рассматриваемых сенсорных решеток FBG1 и FBG2 в связи с тем, что одна из них испытывает неравномерную, положительную деформацию, а другая - неравномерную деформацию, но это отрицательная деформация. На рисунке 6 приведены деформационные характеристики решеток для силы по оси 0-y, равной 15 Н. Максимальное значение силы, действующей по оси 0-y, составило 150 Н. Ввиду схожей формы осевого градиента деформации, характеристики не вошли в работу.

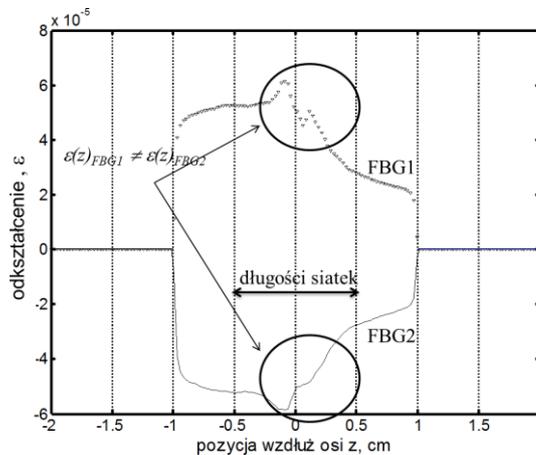


Рис. 6. Деформационные характеристики решеток при силе, действующей по оси 0-y 15Н

После разметки длин FBG1 и FBG2 на рисунке 6 видно, что характер изменения деформаций для обеих решеток аналогичен. Однако существуют различия в абсолютной величине деформации решетки - особенно в области (отмечена на рисунке выше), где распределение деформации $\varepsilon(z)_{FBG1}$ для FBG1 не равно распределению деформации $\varepsilon(z)_{FBG2}$ для FBG2, что более точно показано на рисунке 7.

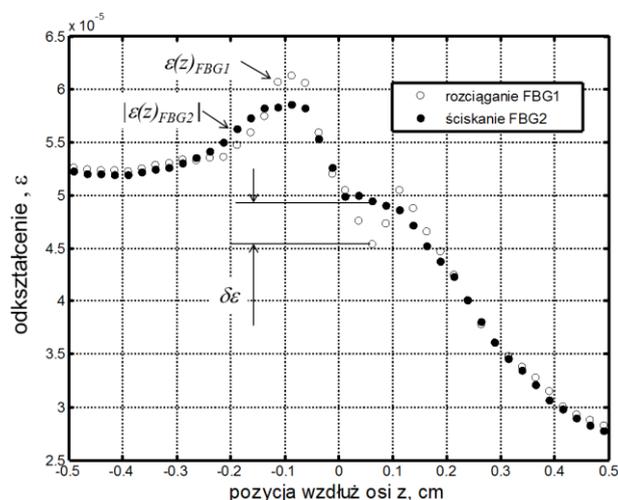


Рис.7. Абсолютные значения осевой деформации брэгговских решеток предлагаемого датчика, вызванной силой, действующей по оси 0-у 15Н

На рисунках 8 и 9 показаны результаты измерения характеристик передачи FBG1 и FBG2 соответственно для различных значений силы, действующей по оси 0-у. Измерения проводились при изменении силы в диапазоне от 0 Н до 150 Н при постоянной температуре 250С. По мере увеличения силы, приложенной к датчику, спектр передачи FBG1 смещается в сторону более длинных волн, при этом полуширина спектра увеличивается. Решетка Брэгга, обозначенная как FBG2, также испытывает расширение спектра пропускания, за исключением того, что в случае FBG2 спектр смещается в сторону более коротких волн.

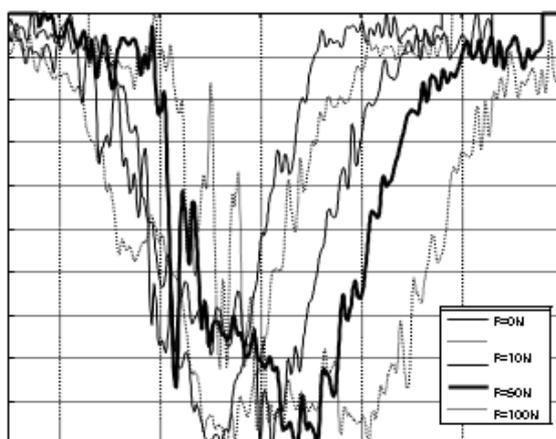


Рис.8. Результаты измерений характеристик передачи FBG1 в условиях переменной силы, действующей по оси 0-у

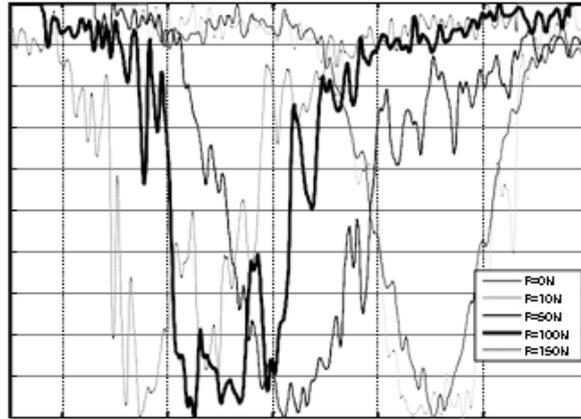


Рис.9. Результаты измерений характеристик передачи FBG2 в условиях переменной силы, действующей по оси 0-у

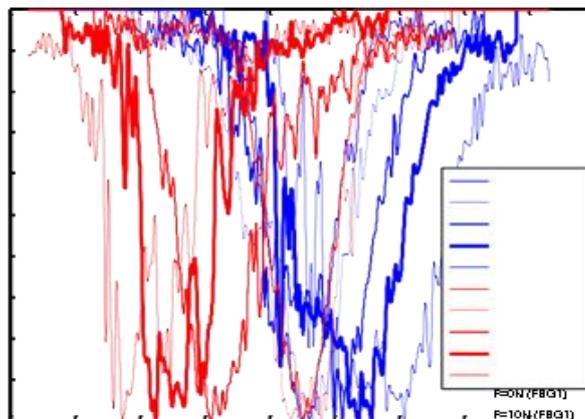


Рис.10. Нормированные спектральные характеристики пропускания всего датчика, собранные на общем чертеже, в условиях переменной силы, действующей на ось 0-у

Анализ спектральных характеристик показывает, что по мере увеличения силы, действующей в направлении 0-у, спектральные характеристики решеток датчиков (FBG1 и FBG2) становятся шире и дальше друг от друга, а изменение температуры вызывает лишь сдвиг спектральных характеристик. Это свойство использовалось для одновременного измерения температуры и силы. На рисунке 11 показаны нормированные спектры датчика изменения силы в результате увеличения силы, действующей по оси 0-у от 0 Н до 150 Н, при постоянной температуре 2500 С.

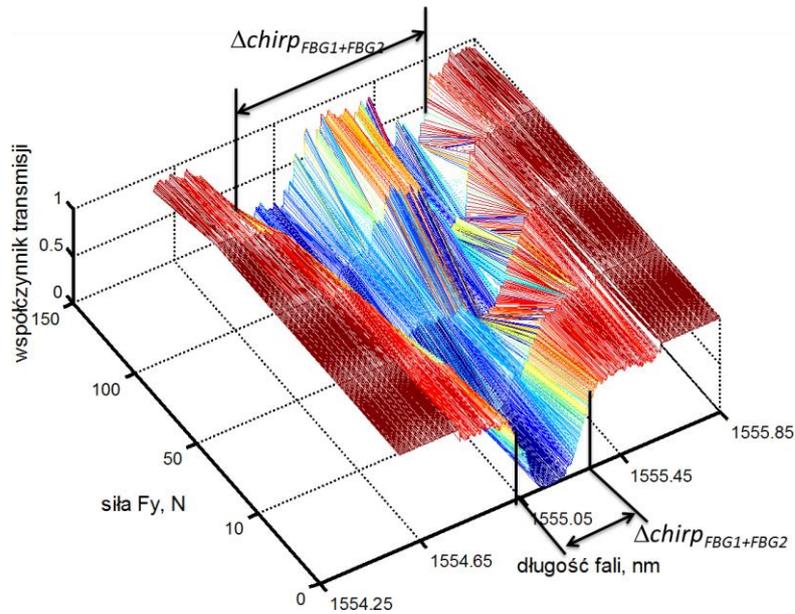


Рис.11. Нормализованный спектр датчика силы, действующей по оси 0-у, с отмеченными ширинами, возникающими в результате chirpa обеих решеток и сдвигов характеристик в условиях постоянной температуры

Сравнивая графики на рисунках 8 и 9, можно сделать вывод, что спектральные характеристики сенсорных решеток датчиков (FBG1 и FBG2) не сохраняют полную симметрию, что является следствием геометрии кронштейна датчика и связанной с этим разницы в осевых напряжениях распределение решеток. За счет использования информации об изменении ширины суммы нормированных спектров пропускания для определения значения приложенной силы чувствительность этого изменения к силе повышается по сравнению с системой, в которой используется только информация о ширине спектра пропускания. Будет использоваться одна из решеток. Результаты выборочных измерений, представленные на рисунках 12 и 13, подтверждают сделанные выше выводы.

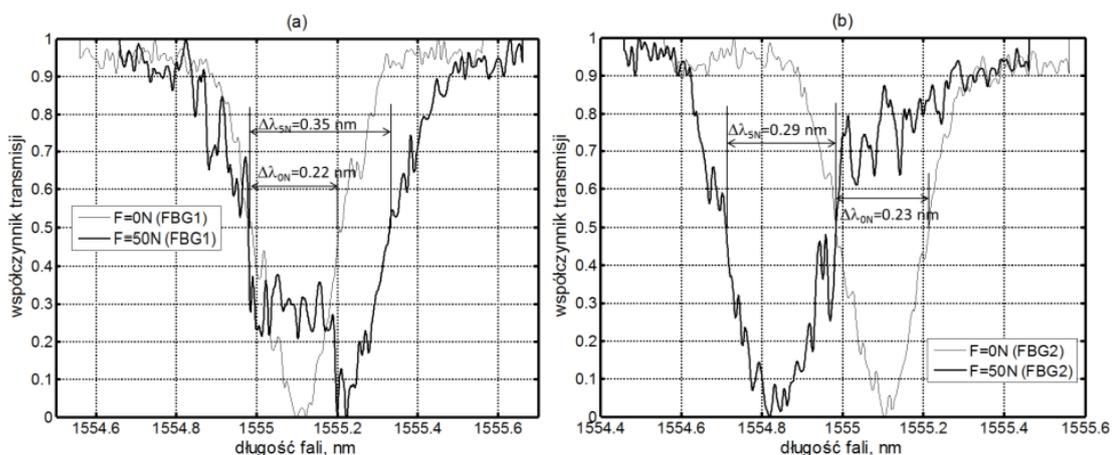


Рис. 12. Спектральные характеристики сенсорных решеток: FBG1 (а) и FBG2 (б) с отмеченными полуширинами при отсутствии нагрузки - силы $F_y = 0$ Н и при нагрузке $F_y = 50$ Н

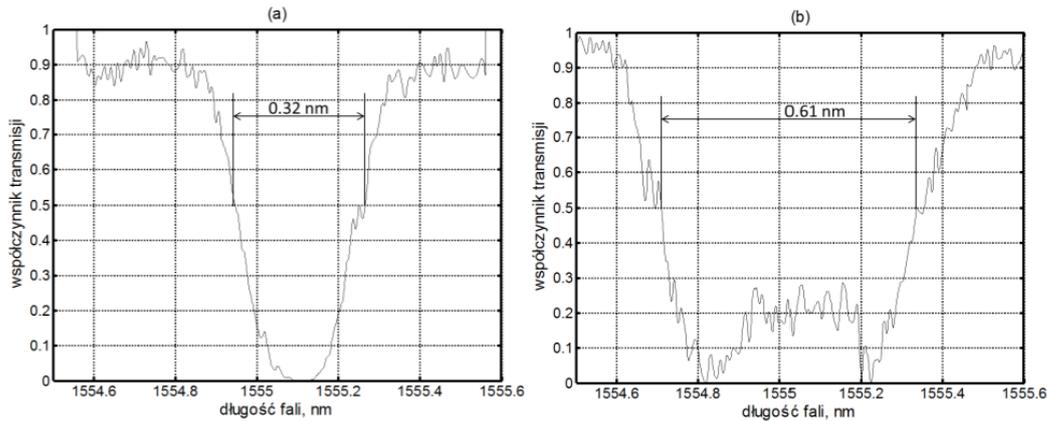


Рис. 13. Нормированные спектральные характеристики всего датчика (сумма спектров пропускания FBG1 и FBG2 с отмеченными полуширинами в случае холостого хода - силы $F_y = 0$ Н (а) и с нагрузкой $F_y = 50$ Н (б))

Изменение значения спектральной ширины с увеличением изгибающей силы от 0 Н до 50 Н достигает значения порядка 0,13 нм для FBG1, поэтому значение коэффициента чувствительности ширины спектра к силе определяется как:

$$K_F = \frac{\Delta FWHM}{\Delta F} \quad (3)$$

соответствовало рисункам 12 и 13 соответственно: для FBG1 $K_F^{FBG1} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ nm} / \text{N}$, а для второй решетки $K_F^{FBG2} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ nm} / \text{N}$.

Аналогичное значение чувствительности, определяемое по уравнению (2) для всего датчика, равно $K_F^{FBG1+FBG2} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ nm} / \text{N}$, что является величиной, большей суммы чувствительности отдельных решеток:

$$K_F^{FBG1+FBG2} > K_F^{FBG1} + K_F^{FBG2} \quad (4)$$

Вышеописанное явление является результатом смещения всего спектра обеих решеток в результате изменения силы, причем согласно рис. 8 и 9 эти смещения имеют противоположные знаки. Неравенство (4) указывает на улучшение чувствительности датчика, достигаемое при использовании такого кронштейна датчика силы FBG, который будет вызывать как чирп, так и противоположный по знаку сдвиг спектральных характеристик в брэгговских решетках. Отсутствие симметрии спектральных характеристик обеих решеток обусловлено даже незначительными размерными отклонениями, в том числе толщиной, структурой материала, твердостью, жесткостью системы нагружения и т.д., на которой размещены решетки. При резке кронштейна лазерным лучом материал с правой и левой стороны от режущей щели подвергается воздействию определенного количества тепловой энергии. Это вызывает изменения в структуре материала; масштаб этих изменений был проанализирован под микроскопом, что позволило сделать вывод, что они также повлияли на измеренные спектры пропускания брэгговских решеток.

По результатам проведенных экспериментальных испытаний можно сделать вывод, что можно одновременно измерять температуру и силу, действующую в одной из двух осей, используя две брэгговские решетки.

Погрешности измерения сдвига длины волны определяются, среди прочего: разрешением анализатора спектра. Знание их значений позволяет определить погрешности определения коэффициентов $K_{T\lambda}$, K_{TB} , $K_{Fy\lambda}$, K_{FyB} , $K_{Fx\lambda}$ и K_{FxB} , что позволяет определить стандартную ошибку определителя матрицы.

4. Заключение

Достижение определенных параметров датчика с волоконной решеткой Брэгга требует разработки соответствующего кронштейна. Это возможно с помощью методов механического системного анализа. С помощью такого анализа можно определить диапазоны возможных значений измеряемых величин, влияющих на датчик. Однако для подтверждения сделанных предположений и возможности определения действительных значений параметров системы следует использовать индуктивные методы. Определение реальных значений чувствительности отдельных параметров сенсорной системы с брэгговскими решетками к температуре и силе имеет решающее значение для понимания ее метрологических свойств. Датчик, использованный в эксперименте, можно рассматривать как модуль расширения, размножив его на одном оптоволокне. Таким образом, головка датчика достигнет больших физических размеров, что позволит вместо этого измерять силу и температуру в местах и, таким образом, определять распределение силы и температуры.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях Оптоэлектроники факультета электротехники и компьютерных наук Люблинского технического университета в рамках проекта ГФ №AP19679153 «Исследование и разработка метода и технологии со-здания композитных структур со встроенными фотонными датчиками PSBC (Photonic Smart Bragg Composites)» ИИВТ КН МНВО РК.

Список литературы

1. Du, C.; Dutta, S.; Kurup, P.; Yu, T.; Wang, X. A review of railway infrastructure monitoring using fiber optic sensors. *Sens. Actuators A* 2020, 303, 111728. [CrossRef]
2. Leung, C.K.Y.; Wan, K.T.; Inaudi, D.; Bao, X.; Habel, W.; Zhou, Z.; Ou, J.; Ghandehari, M.; Wu, H.C.; Imai, M. Review: Optical fiber sensors for civil engineering applications. *Mater. Struct.* 2015, 48, 871–906. [CrossRef]
3. Zhang, X.; Lu, Y.; Wang, F.; Liang, H.; Zhang, Y. Development of fully-distributed fiber sensors based on Brillouin scattering. *Photonic Sens.* 2011, 1, 54–61. [CrossRef]
4. Bao, X.; Chen, L. Recent progress in distributed fiber optic sensors. *Sensors* 2012, 12, 8601. [CrossRef] [PubMed]
5. Albert, J.; Shao, S.L.Y.; Caucheteur, C. Tilted fiber Bragg grating sensors. *Laser Photonics Rev.* 2013, 7, 83–108. [CrossRef]
6. Wu, N.; Zou, X.; Tian, Y.; Fitek, J.; Maffeo, M.; Niezrecki, C.; Chen, J.; Wang, X. An ultra-fast fiber optic pressure sensor for blast event measurements. *Meas. Sci. Technol.* 2012, 23, 055102. [CrossRef]
7. Li, L.; Xia, L.; Xie, Z.; Liu, D. All-fiber Mach-Zehnder interferometers for sensing applications. *Opt. Express* 2012, 20, 11109–11120. [CrossRef]
8. Grooteman, F. Multiple load path damage detection with optical fiber Bragg grating sensors. *Struct. Health Monit.* 2020. [CrossRef]
9. Yu, F.; Okabe, Y. Linear damage localization in CFRP laminates using one single fiber-optic Bragg grating acoustic emission sensor. *Compos. Struct.* 2020, 238, 111992. [CrossRef]
10. Jacobsz, S.W.; Jahnke, S.I. Leak detection on water pipelines in unsaturated ground by discrete fibre optic sensing. *Struct. Health Monit.* 2019. [CrossRef]

11. Tsukada, T.; Minakuchi, S.; Takeda, N. Identification of process-induced residual stress/strain distribution in thick thermoplastic composites based on in situ strain monitoring using optical fiber sensors. *J. Compos. Mater.* 2019, 53, 3445–3458. [CrossRef]
12. Jang, B.-W.; Kim, C.-G. Impact localization of composite stiffened panel with triangulation method using normalized magnitudes of fiber optic sensor signals. *Compos. Struct.* 2019, 211, 522–529. [CrossRef]
13. Anastasopoulos, D.; De Smedt, M.; Vandewalle, L.; De Roeck, G.; Reynders, E.P.B. Damage identification using modal strains identified from operational fiber-optic Bragg grating data. *Struct. Health Monit.* 2018, 17, 1441–1459. [CrossRef]
14. Lv, R.-Q.; Zheng, H.-K.; Zhao, Y.; Gu, Y.-F. An optical fiber sensor for simultaneous measurement of flow rate and temperature in the pipeline. *Opt. Fiber Technol.* 2018, 45, 313–318. [CrossRef]
15. Torres Górriz, B.; Payá-Zaforteza, I.; Calderón García, P.A.; Sales Maicas, S. New fiber optic sensor for monitoring temperatures in concrete structures during fires. *Sens. Actuators A* 2017, 254, 116–125. [CrossRef]
16. Weisz-Patrault, D.; Maurin, L.; Legrand, N.; Salem, A.B.; Bengrir, A.A. Experimental evaluation of contact stress during cold rolling process with optical fiber Bragg gratings sensors measurements and fast inverse method. *J. Mater. Process. Technol.* 2015, 223, 105–123. [CrossRef]
17. Koyamada, Y.; Imahama, M.; Kubota, K.; Hogari, K. Fiber-optic distributed strain and temperature sensing with very high measurand resolution over long range using coherent OTDR. *J. Lightw. Technol.* 2009, 27, 1142–1146. [CrossRef]
18. Madsen, S.F.; Carloni, L. Lightning exposure of carbon fiber composites. Wind turbine blades. In *Proceedings of the 24th Nordic Insulation Symposium on Materials, Components and Diagnostics*, Copenhagen, Denmark, 15–17 June 2015.
19. Zaidi, F.; Nannipieri, T.; Soto, M.A.; Signorini, A.; Bolognini, G.; Pasquale, F.D. Integrated hybrid Raman/fiber Bragg grating interrogation scheme for distributed temperature and point dynamic strain measurements. *Appl. Opt.* 2012, 51, 7268–7275. [CrossRef] *Sensors* 2020, 20, 4223 12 of 12
20. Horiguchi, T.; Shimizu, K.; Kurashima, T.; Tateda, M.; Koyamada, Y. Development of a distributed sensing technique using Brillouin scattering. *J. Lightw. Technol.* 1995, 13, 1296–1302. [CrossRef]
21. Bolognini, G.; Soto, M.A.; Di Pasquale, F. Fiber-optic distributed sensor based on hybrid Raman and Brillouin scattering employing multi-wavelength Fabry-Pérot lasers. *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2009, 21, 1523–1525. [CrossRef]
22. Zou, W.; He, Z.; Hotate, K. Complete discrimination of strain and temperature using Brillouin frequency shift and birefringence in a polarization-maintaining fiber. *Opt. Express* 2009, 17, 1248–1255. [CrossRef] [PubMed]
23. Lu, X.; Soto, M.A.; Thévenaz, L. Temperature-strain discrimination in distributed optical fiber sensing using phase-sensitive optical time-domain reflectometry. *Opt. Express* 2017, 25, 16059–16071. [CrossRef] [PubMed]
24. Zhu, P.; Xie, X.; Sun, X.; Soto, M.A. Distributed modular temperature-strain sensor based on optical fiber embedded in laminated composites. *Compos. Part B* 2019, 168, 267–273. [CrossRef]

Вуйцик Вальдемар. Профессор. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан, Люблинский технический университет, Польша.

Кисала Петр. PhD, профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан, Люблинский технический университет, Польша.

Калижанова Алия Уалиевна к.ф.-м.н, профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан;

Козбакова Айнуур Холдасовна PhD, ассоциированный профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК Алматы, Казахстан, Алматинский технологический университет
Кунелбаев Мурат. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК Алматы, Казахстан

Айткулов Жалау Сагимбаевич. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК Алматы, Казахстан, Алматинский университет энергетики и связи.

Черикбаева Ляйля Шариповна. PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Утегенова Анар Урунтаевна, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан;

Орманов Талгат, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК Алматы, Казахстан

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОЙ ВМЕСТИМОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Д.К. Ким¹, Г. Георгиев

¹Университет Нархоз

УДК 51-74

***Аннотация.** Массовый ввод распределенных источников энергии (РИЭ) в распределительную электрическую сеть, например фотоэлектрических модулей (ФМ) на крышах зданий, приводит к ее серьезной трансформации. Пассивные узлы-потребители превращаются в просьюмеров, которые могут потреблять, снижать и/или смещать потребление по времени, хранить и генерировать электроэнергию в сети. Распределительная сеть становится активным элементом энергосистемы с двунаправленными потоками мощности и изменениями напряжения, определяемыми нагрузками и генерацией РИЭ. Данная работа посвящена одной из основных проблем массового ввода ФМ: ухудшению качества напряжения в узлах сети. Мы исследуем максимальную вместимость ФМ в электрических сетях низкого напряжения (НН) с точки зрения качества напряжения, чьи значения должны быть в допустимой области значений. Мы определяем понятие максимальной вместимости ФМ в сети НН и формулируем оптимизационные задачи с вероятностными ограничениями для ее оценки.*

***Ключевые слова:** максимальная вместимость фотоэлектрических модулей, распределительная генерация, распределительная сеть, напряжение, оптимизационная задача, вероятностный подход.*

Введение

Традиционно, электроэнергия, вырабатываемая крупными электростанциями, передается по распределительным сетям с высоких уровней напряжения на более низкие. С появлением ФМ потоки энергии становятся двунаправленными, а потребитель – активным элементом энергосистемы. В то же время возникают новые проблемы. С одной стороны, необходимо обеспечить подключение наибольшего количества ФМ к сети. С другой стороны, необходимо обеспечить качество электроэнергии [1]. Эта проблема связана с оценкой максимальной вместимости ФМ в сети НН (см. [2]).

Случайные колебания мощности распределенной генерации, вызванные солнечной генерацией и потреблением в узлах сети, приводят к более высоким стохастическим колебаниям напряжения, чем в традиционных сетях. Слишком низкие или высокие напряжения приводят к недопустимому ухудшению качества электроэнергии. Таким образом, солнечная генерация оказывает серьезное влияние на профиль напряжения в распределительных сетях, и является проблемой при интеграции ФМ в сеть НН.

Цель нашей работы – оценить максимальную вместимость ФМ в сети НН в терминах токов и количества ФМ с учетом ограничений, связанных с качеством напряжения. Мы используем вероятностный подход для анализа напряжений в узлах сети НН с распределенной генерацией ФМ.

Количество работ, посвященных исследованию напряжений в распределительной сети, достаточно велико (см. обзор [3]), и во многих из них используется вероятностный подход [3]-[4]. В большинстве из них для исследования выбирается функционал, затем либо анализируются исторические данные, либо разрабатывается имитационная модель сети и

после ее многократного моделирования методом Монте-Карло оцениваются вероятностные характеристики выбранного функционала ([4]-[7]). В то же время из-за большого количества моделирований, необходимых для сходимости, этот метод обычно требует больших затрат времени, в отличие от аналитических методов. Кроме того, такой подход не очень удобен для изучения зависимости результатов от входных параметров. Аналитические методы, как правило, лишены этих недостатков.

Помимо уже упомянутых случайных колебаний мощности распределенной генерации, важно также отметить, что в распределительных сетях НН количество доступных измерений в реальном времени обычно очень ограничено [8]. Поэтому в качестве дополнительных измерений используются псевдо измерения с большими погрешностями.

Мы рассматриваем параметры сети как случайные величины и случайные процессы с некоторым вероятностным распределением. Мы используем тот факт, что основной задачей оператора распределительной сети является поддержание параметров сети в пределах ГОСТа. Это означает, что оператору сети не обязательно знать точные значения оцениваемых параметров, а достаточно знать, остаются ли эти параметры в пределах соответствующих ограничений. В соответствии с этой логикой вместо поиска точных значений параметров мы исследуем вероятность того, что искомые параметры принадлежат допустимым интервалам значений. Более того, если мы можем найти или оценить такую вероятность, то следующим шагом может быть нахождение таких значений некоторых входных параметров, которые максимизируют вероятность или другую целевую функцию, связанную с этой вероятностью.

В данной работе мы рассматриваем распределительную сеть со случайными напряжениями, которые зависят от солнечной генерации и нагрузки потребителей. В соответствии со стандартом EN 50160 [9], профиль напряжения каждого узла сети должен находиться в интервале $U_{nom} \pm 10\%$ (U_{nom} – номинальное напряжение) по меньшей мере всего времени, что можно переформулировать как вероятность того, что напряжение узла находится в допустимом интервале должно быть не меньше, чем . Тогда задача оценки мощности размещения ФМ сводится к оптимизационной задаче с вероятностными ограничениями на напряжения.

1. Модель и формулировка задачи

На рис. 1 показан пример сети НН с трехфазной схемой с нейтральной линией и трансформатором среднего/низкого напряжения (СН/НН). Не все потребители используют трехфазное питание. Многие из них подключены к одной фазе, но так что результирующие нагрузки трех фаз примерно равные. В таком случае ток в нейтральной линии будет минимальным, как и разница между фазными напряжениями. Это позволяет исследовать только одну фазу, а полученные результаты применить к двум другим фазам.

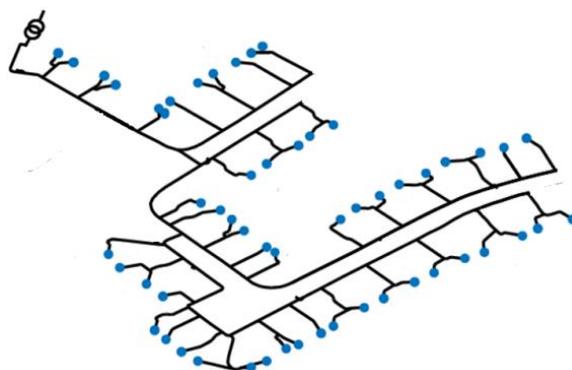


Рис.1. Пример сети НН

Мы рассматриваем однофазную распределительную сеть НН в течение некоторого интервала времени. Время может рассматриваться как день, сезон или больше, в зависимости от задачи. Параметры трансформатора обычно устанавливаются пару раз в год, поэтому, если мы предполагаем, что суточное поведение параметров сети периодически, достаточно изучить день. Если необходимо учесть сезонные колебания, можно рассматривать более длительные, чем день интервалы.

Предположим, что сеть имеет m узлов с напряжениями

$$U_0(t), U_1(t), \dots, U_m(t), \quad t \in [0, T].$$

Каждый узел сети связан с просьюмером (prosumer), кто может потреблять и генерировать энергию в сеть. Пусть начальный узел балансирующий, т.е. U_0 может быть определен заранее и зафиксирован. Определим вектор напряжений без балансирующего узла

$$\mathbf{U}(t) = (U_1(t), U_2(t), \dots, U_m(t))^T$$

и вектор токов

$$\mathbf{I}(t) = (I_1(t), I_2(t), \dots, I_m(t))^T.$$

Вектора напряжений и токов связаны между собой

$$\mathbf{U}(t) = \mathbf{U}_0 + \mathbf{H} \times \mathbf{I}(t),$$

где \mathbf{H} – матрица узловых сопротивлений и $\mathbf{U}_0 = (U_0, U_0, \dots, U_0)^T$.

Предположение 1. Каждый ток в узле может быть представлен в виде:

$$I_i(t) = -SI_i(t) + J_i(t),$$

где $SI_i(t) \geq 0$ – активный ток от ФМ в узле i и $J_i(t) \geq 0$ – ток потребления в узле i . ФМ генерируют только активный ток. Последнее выражение может быть переписано в векторной форме

$$\mathbf{I}(t) = -\mathbf{S}\mathbf{I}(t) + \mathbf{J}(t),$$

где $\mathbf{S}\mathbf{I}(t), \mathbf{J}(t)$ – вектора с элементами $SI_i(t)$ и $J_i(t), i = 1, 2, \dots, m$.

В рамках детерминированного подхода под максимальной вместимостью ФМ в сети в терминах токов можно понимать максимальный суммарный ток от солнечных панелей

$$\max_{t \in [0, T]} \sum_{i=1}^m SI_i(t),$$

при котором выполняются требования к профилю напряжения (с вероятностью 1). На наш взгляд, это приводит к довольно ограничительным выводам.

Предположение 2. Мы можем рассматривать $SI_i(t)$, $J_i(t)$ и $I_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $t \in [0, T]$, как случайные процессы с непрерывными траекториями.

Тогда требования EN 50160 о допустимых значениях напряжений могут быть переформулированы, используя вероятностную логику: для некоторого малого $0 \leq \varepsilon \leq 0.05$

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq |\mathbf{U}(t)| \leq 1.1\mathbf{U}_{nom}) \geq 1 - \varepsilon, \quad (1)$$

где $\mathbf{U}_{nom} = (U_{nom}, U_{nom}, \dots, U_{nom})^T$ – вектор из номинальных напряжений и $|\mathbf{U}(t)|$ – вектор модулей напряжений узлов. Это значит, что модули напряжений должны быть внутри интервала допустимых значений с вероятностью близкой к единице. Значение определяет «уровень надежности» сети.

Определение 1. Под вместимостью ФМ в сети НН в терминах токов мы будем понимать вектор $\mathbf{S} = (S_1, S_2, \dots, S_m)^T$, такой, что для любого $0 \leq SI_i(t) \leq S_i$ условие (1) выполнено.

Определение 2. Под максимальной вместимостью ФМ в сети НН в терминах токов мы будем понимать суммарный максимальный ток ФМ

$$\sum_{i=1}^m S_i,$$

при котором выполняются условия (1).

Наша цель – найти U_0 и \mathbf{S} для которых условие (1) выполнено. Известно, что во время вечернего пика узловые напряжения принимают свои минимальные значения, поэтому желательно установить значение U_0 как можно выше, чтобы избежать превышения напряжениями нижнего предела $0.9U_{nom}$. В то же время днем, когда наибольшая солнечная генерация и наименьшее потребление, напряжения могут превысить верхний предел $1.1U_{nom}$, поэтому напряжение U_0 не должно быть очень большим.

Это означает, что сначала мы можем выбрать минимальное значение U_0^* , при котором вероятность падения напряжения ниже допустимого предела во время вечернего пика не превышает ε . Затем найдем максимальную вместимость, при которой выполняется соотношение (1). Естественно предположить, что во время вечернего пика солнечная генерация отсутствует.

Теперь мы можем сформулировать общую постановку задачи, которая состоит из двух оптимизационных задач.

Сформулируем первую оптимизационную задачу:

$$U_0 \rightarrow \min, \quad (2)$$

при ограничениях: $0.9U_{nom} \leq U_0 \leq 1.1U_{nom}$ и для некоторого $\varepsilon > 0$

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq |\mathbf{U}(t)| \leq 1.1\mathbf{U}_{nom} | \mathbf{SI}(t) = \mathbf{0}) \geq 1 - \varepsilon,$$

где $\mathbf{0}$ – нулевой вектор.

Вторая оптимизационная задача:

$$\sum_{i=1}^m S_i \rightarrow \max, \quad (3)$$

при ограничениях: для $\varepsilon > 0$

$$P(0.9U_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1U_{nom} \mid \mathbf{U}_0 = \mathbf{U}_0^*) \geq 1 - \varepsilon,$$

где $\mathbf{U}_0^* = (U_0^*, U_0^*, \dots, U_0^*)^T$.

Существование решений первой и второй оптимизационных задач обеспечивается функционированием сети НН без ФМ.

2. Основные результаты

Реактивные сопротивления и токи в сетях НН малы по сравнению с их активными значениями, поэтому следующее предположение упрощает вычисления.

Предположение 3. Мы пренебрегаем реактивными параметрами сети НН.

Ниже мы приводим ряд дополнительных предположений, которые позволяют модифицировать формулировку оптимизационных задач и получить оценки максимальной емкости ФМ.

Предположение 4. Предположим, что для каждого узла существует момент времени (вечерний пик) $e_i \in [0, T]$, когда потребление достигает своего максимального значения, т.е.

$$J_i(e_i) = \max_{t \in [0, T]} J_i(t), i = 1, 2, \dots, m.$$

Определим

$$\mathbf{J}^e = (J_1(e_1), J_2(e_2), \dots, J_m(e_m))^T.$$

Очевидно, что

$$P(0.9U_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1U_{nom} \mid \mathbf{SI}(t) = \mathbf{0}, \mathbf{J}(t) = \mathbf{J}^e) \leq P(0.9U_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1U_{nom} \mid \mathbf{SI}(t) = \mathbf{0}).$$

Поэтому, если найдем решение оптимизационной задачи:

$$U_0 \rightarrow \min, \quad (4)$$

при ограничениях: $0.9U_{nom} \leq U_0 \leq 1.1U_{nom}$ и для $\varepsilon > 0$

$$P(0.9U_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1U_{nom} \mid \mathbf{SI} = \mathbf{0}, \mathbf{J} = \mathbf{J}^e) \geq 1 - \varepsilon,$$

которую назовем третьей оптимизационной задачей, мы найдем оценку для задачи (2).

Для краткости выводов мы считаем, что токи от ФМ разных производителей и с разной эффективностью преобразования солнечной радиации могут быть сведены к току от панелей стандартного типа, которые мы будем понимать как условный ФМ.

Предположение 5. Мы предполагаем, что каждый потребитель использует одни и те же условные ФМ, разница лишь в их количестве и технических деталях установки (угол наклона солнечных панелей, направление на солнце и т. д.).

Это означает, что

$$SI_i(t) = q_i f_i(SR(t)),$$

где $SR(t)$ – солнечная радиация в момент времени t , q_i – количество условных ФМ и $SI_i(t)$ – ток от условного ФМ, который зависит от технических деталей его установки в узле .

Для дальнейших выводов нам понадобятся дополнительные ограничения.

Предположение 6. Предположим, что все условные ФМ одинаково расположены по отношению к солнцу и имеют одинаковый угол наклона.

Это предположение, на первый взгляд, кажется довольно ограничительным, хотя вполне вероятно, что все потребители будут стараться установить свои панели таким образом, чтобы добиться максимальной экономической эффективности. На рис. 3 показан пример расположения солнечных панелей в жилом поселке Фрайбург, Германия.



Рис. 3. Фрейбург, Германия (Andrewglaser, Wikipedia)

Предположение 7 подразумевает, что

$$\max_{t \in [0, T]} SI_i(t) = q_i \times SC,$$

где SC номинальный ток от условного ФМ.

Предположение 7. Пусть для каждого узла существует момент времени $d_i \in [0, T]$, в котором достигается дневной минимум потребления, т.е.

$$J_i(d_i) = \min_{t \in [0, T]} J_i(t), i = 1, 2, \dots, m.$$

Из предположений 6 и 7 следует, что

$$I_i(t) = -SI_i(t) + J_i(t) \geq -q_i SC + J_i(d_i), i = 1, 2, \dots, m.$$

Положим

$$\mathbf{U}^d = \mathbf{U}_0^* + \mathbf{H} \times (-\mathbf{q} \times SC + \mathbf{J}^d) = \mathbf{U}_0^* - \mathbf{H} \times \mathbf{q} \times SC + \mathbf{H} \times \mathbf{J}^d,$$

где $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)^T$.

Очевидно, что

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1\mathbf{U}_{nom} \mid \mathbf{U}_0 = \mathbf{U}_0^*, \mathbf{SI} = \mathbf{q} \times SC, \mathbf{J} = \mathbf{J}^d) \leq P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}(t) \leq 1.1\mathbf{U}_{nom} \mid \mathbf{U}_0 = \mathbf{U}_0^*),$$

где последняя вероятность определена для любого $0 \leq SI_i(t) \leq q_i SC, i = 1, 2, \dots, m$.

Сформулируем четвертую оптимизационную задачу:

$$SC \sum_{i=1}^m q_i \rightarrow \max, \quad (5)$$

при ограничениях: для $\varepsilon > 0$

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}^d \leq 1.1\mathbf{U}_{nom}) \geq 1 - \varepsilon,$$

где U_0^* – решение третьей оптимизационной задачи.

Мы можем применить известные численные методы для решения этой задачи, но они требуют более глубокого математического исследования проблемы. Вместо этого сведем задачу к уже известной и хорошо изученной задаче линейного программирования.

Работать с многомерной функцией сложно, поэтому воспользуемся известным неравенством Фреше: пусть A_1, A_2, \dots, A_m – некоторые события, тогда

$$P(A_1 A_2 \dots A_m) \geq P(A_i) - (m-1).$$

Если мы положим, что $P(A_i) \geq 1 - \varepsilon / m$, где

$$A_i = \{0.9U_{nom} \leq U_i^d \leq 1.1U_{nom}\}, i = 1, 2, \dots, m,$$

и U_i^d – элемент вектора \mathbf{U}^d , то

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}^d \leq 1.1\mathbf{U}_{nom}) \geq 1 - \varepsilon.$$

Легко видеть, что

$$P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}^d \leq 1.1\mathbf{U}_{nom}) = P(0.9\mathbf{U}_{nom} \leq \mathbf{U}_0^* - \mathbf{H} \times \mathbf{q} \times SC + \mathbf{H} \times \mathbf{J}^d \leq 1.1\mathbf{U}_{nom}) = \\ P(0.9\mathbf{U}_{nom} - \mathbf{U}_0^* + \mathbf{H} \times \mathbf{q} \times SC \leq \mathbf{H} \times \mathbf{J}^d \leq 1.1\mathbf{U}_{nom} - \mathbf{U}_0^* + \mathbf{H} \times \mathbf{q} \times SC).$$

Определим для краткости элементы вектора $\mathbf{H} \times \mathbf{J}^d$ как h_i , $i = 1, 2, \dots, m$. Тогда мы можем найти квантили a_i и d_i случайной величины h_i , такие, что

$$P(d_i \leq h_i \leq a_i) \geq 1 - \varepsilon / m, i = 1, 2, \dots, m.$$

Теперь мы можем сформулировать пятую оптимизационную задачу:

$$SC \sum_{i=1}^m q_i \rightarrow \max,$$

при ограничениях:

$$\mathbf{a} - (1.1\mathbf{U}_{nom} - \mathbf{U}_0^*) \leq \mathbf{H} \times \mathbf{q} \times SC \leq \mathbf{d} + \mathbf{U}_0^* - 0.9\mathbf{U}_{nom},$$

где $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T$, $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_m)^T$.

3. Заключение

Мы изучили проблему оценки максимальной вместимости ФМ в сети НН на основе вероятностного подхода и с точки зрения качества напряжения. Традиционные детерминированные подходы к решению этой проблемы напряжения обычно считают, что каждый ФМ выдает ток, равный его номинальному значению, и каждый узел потребляет наименьшую ожидаемую нагрузку. Для определения минимального напряжения учитываются вечерние пиковые нагрузки. В то же время потребление и генерация каждого узла сети, а также степень зависимости между ними постоянно меняются. Таким образом, традиционный детерминированный подход к анализу напряжения ориентирован на наихудший сценарий. В результате традиционного подхода возможности интеграции ФМ сильно недооцениваются.

В данной работе мы использовали вероятностные идеи, которые в некотором смысле обобщают детерминированный подход. Последний оперирует событиями с вероятностью один, а первый – с вероятностью, близкой к единице. Важно также отметить, что многие технические параметры большинства сетей НН известны с некоторой погрешностью, что опять же говорит в пользу вероятностных методов.

Максимальная вместимость ФМ в сети НН была определена через суммарный ток от солнечных панелей в сети, что в некоторых случаях можно рассматривать как максимальное количество некоторых условных ФМ, которые могут быть установлены в сети без негативного влияния на напряжение.

Мы сформулировали оптимизационную задачу поиска максимального количества условных ФМ, при котором напряжения находятся в допустимом интервале с вероятностью, близкой к единице. Это означает, что с вероятностью, близкой к единице, во время вечернего пика падение напряжений в узлах сети не нарушает нижнего предела $0.9U_{nom}$, а во время максимальной солнечной генерации значения напряжения не превышают верхнего предела $1.1U_{nom}$.

Общая цель работы заключается в разработке математических методов для надежного поддержания уровней напряжения в сети НН, соответствующих стандарту ($U_{nom} \pm 10\%$), при глубоком проникновении ФМ.

Отметим, что наш вероятностный подход, как и детерминированный, был ориентирован на экстремальные случаи для значений напряжений. На наш взгляд, исследование изменчивости напряжения в новых условиях требует более глубоких математических методов, которые, помимо экстремальных случаев, будут учитывать наиболее ожидаемые сценарии поведения напряжений сети.

Данное исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19680230).

Список литературы

1. Kenneth A. P., Folly K. Voltage rise issue with high penetration of grid connected pv // IFAC Proceedings. – 2014. Т. 47. – С. 4959–4966.
2. Ding F., Mather B. and Gotseff P. Technologies to increase PV hosting capacity in distribution feeders // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). – 2016. С. 1-5.
3. Alboaouh K. A., Mohagheghi S. Impact of Rooftop Photovoltaics on the Distribution System // Journal of Renewable Energy – 2020. С. 1-23.
4. Klonari V. Probabilistic analysis of low voltage distribution networks with distributed generation // PhD Thesis, Université Libre de Bruxelles – 2016. С. 1-314.

5. Conti S., Raiti S. Probabilistic load flow using Monte Carlo techniques for distribution networks with photovoltaic generators // Sol. Energy – 2007. Т. 81. №. 12. С. 1473–1481.
6. Heslop S., MacGill I., Fletcher J., Lewis S. Method for determining a PV generation limit on low voltage feeders for evenly distributed PV and Load // Energy Procedia – 2014. Т. 57. С. 207 – 216.
7. Torquato R., Shi Q., Xu W., Freitas W. A Monte Carlo simulation platform for studying low voltage residential networks // IEEE Trans. Smart Grid. – 2014. Т. 5. №. 6. С. 2766–2776.
8. Abur A., Expósito A. G. Power System State Estimation Theory and Implementation – New York: Marcel Dekker, Inc., 2004.
9. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, EN 50160 Standard, 2012.
10. Georgiev, G., Kim D., Negnevitsky M., Probabilistic approximation of voltage values for power distribution network with large number of nodes and solar generation // Proceedings of the 10th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, Technical University of Kosice, Stara Lesna, Slovakia – 2019. С. 58-61.

*Ким Дмитрий Константинович – к.ф.-м-н., профессор университета Нархоз;
050035, Алматы; e-mail: dmitriy.kim@narhoz.kz;
Георги Георгиев скончался в 2022;
9003, Варна, Болгария.*

СЕКЦИЯ 7

**Жасанды интеллект жүйелеріндегі оңтайландыру және
оңтайландыру міндеттері**

**Искусственный интеллект в оптимизации и оптимизационные задачи
в системах искусственного интеллекта**

**Artificial intelligence in optimization and optimization problems
in artificial intelligence systems**

НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Г.М. Кененбаева¹, Л. Аскар кызы², А. Султанкул кызы², Ж.К. Бейшебаева¹

¹Кыргызский Национальный университет им. Жусупа Баласагына, образовательная программа «Прикладная математика и информатика»,

²Кыргызский Национальный университет им. Жусупа Баласагына, образовательная программа «Прикладная информатика»

УДК 004.832.3

Аннотация. В статье отмечаются факты-ошибки и попытки их замаскировать, допущенные искусственным интеллектом (ИИ). Выявлены причины ошибок и непонимания текстов (не только ИИ, но и людьми, в том числе учащимися) - неясность многих слов, неясность и неоднозначность исторически сложившихся математических обозначений. Даны рекомендации по общению с ИИ и использованию ИИ. Приводятся примеры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ошибка, нечеткое множество, коммуникация.

Введение

В настоящее время использование искусственного интеллекта (ИИ) в математических исследованиях становится все более распространенным. ИИ позволяет автоматизировать ряд математических процессов, ускоряя вычисления, оптимизируя методы и алгоритмы и предоставляя новые инструменты для анализа и предсказания. Методы машинного обучения и глубокого обучения используются для поиска закономерностей в математических данных, создания моделей и предсказаний, а также для оптимизации решения математических задач. Использование ИИ также позволяет математикам исследовать более сложные и абстрактные проблемы, которые ранее были недоступны для анализа. Таким образом, ИИ играет все более важную роль в развитии математических исследований, открывая новые возможности для исследования и применения математических концепций.

На эту тему есть много публикаций. Однако, по нашему мнению, они недостаточны, неконкретны и их использование может привести к ошибкам (не будем приводить конкретных ссылок, поскольку каждая ссылка требует обоснованной критики). Например, 1. Автоматизация повседневных задач; 2. Индивидуализация обучения; 3. Генерация контента и образовательных приложений; 4. Развитие так называемых «мягких навыков». В таких публикациях рекламируется ИИ, перечисляются классы задач, которые решаются с помощью ИИ, но нет конкретных примеров и рекомендаций. Поэтому такие публикации невозможно использовать. Удалось найти только статью [1], где приведены примеры ошибок при формульных вычислениях производных от сложных выражений, но не сделаны никакие выводы. Поэтому изложу свой опыт и соображения и опыт других математиков Кыргызстана.

1. Недостатки

Имеется публикация [1]. Авторы подчеркивают предпочтения ИИ, но не упоминают его недостатки и опасности. Известно, что неповрежденные рабочие роботы убили множество людей.

Мы спросили: $1+1+1+3+1+1+1-3+2+1+3+2=?$

Чат GPT 3.5: Чтобы решить выражение:

$1+1+1+3+1+1+1-3+2+1+3+2:$

Сначала сложит все единицы: $1+1+1+1+1+1+1=8$

Затем добавит остальные числа: $3+2+1+3+2=11$

Теперь объединяя результаты шагов сложения: $8+11=19$.

Наконец, $19-3=16$.

Итак, значение $1+1+1+3+1+1+1-3+2+1+3+2$ равно 16.

Это тоже известно. Если эти цифры являются результатами измерений, а у ИИ есть исполнительные механизмы (мозг робота), то последствия будут трагичны.

Мы продолжили: Используйте калькулятор

ChatGPT: с помощью калькулятора можно узнать значение

$1+1+1+3+1+1+1-3+2+1+3+2$ равно 14

Мы: Почему ты ответил 16?

ChatGPT: прошу прощения за ошибку. Давайте разберем выражение поэтапно правильно: Сложим все единицы: $1+1+1+1+1+1+1=8$.

Затем сложите оставшиеся числа: $3+2+1+3+2=11$.

Наконец, вычтите 3: $8+11-3=16-3=14$ Спасибо, что указали на ошибку.

То есть ИИ знает, что он рассчитывает неправильно, но пытается обмануть пользователя, утверждая, что методы ИИ верны.

Также, например, в ответ на запрос «Показать вертикальный сегмент и горизонтальный сегмент с использованием ASCII Art» Gemini показал два вертикальных сегмента и два горизонтальных сегмента.

Если мы пользуемся Интернетом...

Почему ChatGPT дает неверные математические ответы?

Благодаря языковой модели чат-бот формирует свой ответ на основе ваших слов, используя технологию преобразователя, а это означает, что он чувствителен к тому, что вы пишете и как вы выражаете свои мысли. Другими словами, ChatGPT — это текстовая языковая модель, а не калькулятор или математический гений.

Это значит, что разработчики ИИ, пытавшиеся использовать только преобразование существующих текстов, не включили математические инструменты (калькулятор, Mathcad, Math Lab, Wolfram...) и создали новые угрозы человечеству.

Замечание. С древнейших времен самодействующие устройства (автоматы): ловушки, мины, умные мины... стали угрозой для людей, в том числе для их авторов, изобретателей и производителей. Притчи 26:27 «Кто роет яму, тот упадет в нее».

К сожалению, разработчики ИИ не сделали все возможное для смягчения угроз ИИ.

Замечание. Gemini ответили: «Чтобы решить это выражение, мы можем просто выполнить арифметические действия слева направо:» и дали правильный результат 14.

Но

$(1+1)+1+(3+1+1+1-3)+2+(1+3+2)=2+1+(4-3)+2+(6)=2+1+1+2+6=12$

Это означает, что Gemini лучше улавливает идеи, но у них нет встроенного калькулятора.

Мы рассматриваем сложности и неясности в математических текстах не только для ИИ, но и для человека и даем некоторые рекомендации.

Некоторые положения данной статьи были прочитаны на V Борубаевских чтениях в Бишкеке в июне 2024 г. и опубликованы [4].

2. Неясность понятий

Появление ИИ заставило по-другому посмотреть на все интеллектуальное достояние человечества, поскольку ИИ, значительно быстрее любого человека, имеет доступ и использует значительную часть этого достояния.

Большая часть этого достояния состоит из текстов. Но, как знали всегда юристы, слова не определены. В научном отношении такую работу начал Лутфи Заде, который ввел понятие fuzzy (нечеткое). Например, фразы: мы далеко от университета; мы недалеко от Университета; мы в Чуйской долине; мы не в Чуйской долине не противоречат друг другу, потому что далекий – нечеткое прилагательное, Чуйская долина – нечеткая часть пространства.

Многие качественные прилагательные длинный-короткий, большой-маленький, широкий-узкий, сильный-слабый, тяжелый-легкий, высокий-низкий, далеко-близкий, горячий-холодный... нечеткие. И у ИИ есть причины их не понимать. Цвета нечеткие, имеют разные нечеткие области в разных языках и часто используются в переносном смысле. Многие географические термины «долина», «хребет», «гора», «побережье», «Европа», «Азия»... нечеткие.

Авторы [3] распространили подобные исследования на пространственные понятия сверху, снизу, слева, справа... . Рассмотрим высказывание типа $X \& V$ (в кыргызском языке используется постфиксная запись $XV \&$), где X – точка, V – часть пространства. Оказалось, что некоторые носители языка понимают такие высказывания как $(\forall Z \in V)(X \& Z)$, а другие понимают их как $(\exists Z \in V)(X \& Z)$. То есть результаты — это даже не нечеткие, а совершенно разные части пространства.

Замечание. Словари не дают определения слов, а объясняют одни слова через другие, что приводит к логическим кругам.

3. Неясности в грамматике

Существующие грамматические формы, отсутствие семантических скобок не могут адекватно реагировать на существующие отношения между понятиями. Например, под Большим автозаводом можно понимать и как (Большой автомобильный) завод, и как Большой (автозавод). И у ИИ есть основания не понимать такие приказы, как «Показать точку и отрезок»: может быть, это (Показать точку) и (отрезок)? Человек должен написать, Показать (точку и отрезок) или Показать точку и показать отрезок.

4. Неясности в математических терминах и обозначениях

Многие математические символы не написаны, а подразумеваются.

Мы нашли несколько публикаций на эту тему, [5], с.53. Почему $4x$ означает $4 * x$? но $4 \frac{1}{2}$ означает $4 + \frac{1}{2}$? (Это заметил И. Ньютон) и 43 означает $4 * 10 + 3$?

[6]: $f^{-1}(x)$ может быть обратным; прообраз; $1/f(x)$.

$f^2(x)$ может быть $(f \circ f)(x)$ и $(f(x))^2$. $n!! = n(n-2)(n-4) \dots$ или $(n!)!$?

Многие неоднозначные термины перечислены в [7], [8].

Запятая (,) может означать \forall , \exists , «при», «при условии», «при», «при условии».

Круглые скобки () имеют слишком много значений, вплоть до «скалярного произведения».

Квадратные скобки [] имеют слишком много значений, вплоть до специальных функций в различных разделах математики.

Многие математические символы не написаны, а подразумеваются.

Два основных различных математических понятия записываются одинаково: $w(x+y)$ может означать «функцию w от суммы x и y » или «число w , умноженное на сумму x и y ».

Бытовое значение слов отличается от математического. Во всех языках «деление» имеет как математическое значение: «разделим 20 на 10», так и общежитейское значение: «разделим все числа на четные и нечетные».

Верхние и нижние индексы имеют слишком много значений: от аргументов до компонентов обозначений.

W_{25} может означать $W[25]$ или $W[2][5]$ ($W[2,5]$) в обозначениях алгоритмических языков.

«Линия над знаками», звездочка (*) обозначает множество специальных функций в различных разделах математики.

$\sin t$ явно является синусом t . Является ли $\sin t$ целым синусом t или $s * i * t$?

Традиционное использование знака () во многом приводит к путанице:

$$|7 + 2| - 1 - 3| - 18 + 2|.$$

Любая буква может иметь как общее значение, так и конкретное.

Например: $y(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$. Здесь $d u e$, вероятно, любые числа.

$dx = 2dy$. Здесь d явно обозначает малое сложение (дифференциальное исчисление).

$y(x) = e^x$ Здесь явно $e = 2,71 \dots$

$y(x) = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3$. Здесь ясно, что δ — это, вероятно, любое число.

δ_{ij} , вероятно, означает символ Кронекера.

$\int f(x-s)\delta(s)ds$ - явно имеется в виду дельта-функция Дирака.

По нашему опыту, многие одаренные ученики боятся таких неясностей и неясностей (к тому же они не объясняются учителем) и считаются неспособными к математике (и физике).

Рекомендации: Не говорите учащимся: «' — это производная», а скажите учащимся: «Производная иногда обозначается как '»; спросите: «Какие еще обозначения производной вы знаете?» [5].

Пишите открытым текстом (ASCII), без верхних и нижних индексов, без специальных обозначений, с (), {}, с пояснениями для ИИ:

(целое число, сумма, максимум) $\{8 * x - x^2: 1 \leq x \leq 10\}$.

5. Использование ИИ

Не верьте ИИ.

ИИ может улавливать идеи. Если вы получили математический результат, желаете получить математический результат или хотите узнать о математических результатах, обратитесь к ИИ.

Обратитесь к разным ИИ.

Начните с простых вопросов. Не используйте специальные термины. Постарайтесь объяснить простыми словами. Квест один и тот же в разных терминах.

Два примера.

1) Исследуем функциональные соотношения. Одним из простых примеров является периодическое издание.

функции (бинарное соотношение). Знают ли они какие-то его обобщения?

Мы спросили: как называются функции, удовлетворяющие условию $f(x) - f(x + h) = 0$ для всех вещественных x ? — периодические функции. Как называются функции, удовлетворяющие условию $f(x - h) - 2 * f(x) + f(x + h) = 0$ для всех вещественных x ? — ИИ ответил: Функции Дирихле.

Но есть единственная известная функция Дирихле: 1, если x рационален, и 0, если x иррационален. Если h рационален, то эта функция удовлетворяет условию. Означает ли это, что мы открыли новый класс функций?

2) Мы спросили: Есть сосуд со множеством железных шариков разного размера. Если потрясти сосуд, где окажется самый большой шарик? ИИ не нашел нашу статью [9], но нашел публикацию [10].

Также мы даем обучающимся образовательные задания: придумать сложные задачи, которые сможет решить ИИ.

Предлагаются следующие тезисы:

1) Не определен и не может быть определен смысл слов в целом (эту работу начал Л.Заде в понятии «нечеткие множества»). «Голковые словари» не дают определений слов, а объясняют одни слова через другие, что приводит к логическим кругам, например в [3] П.С.Панков и С.А.Карабаева нашли конкретные вопросы, когда носители языка дают совсем разные ответы. Тем более, нет понятия «адекватный перевод».

2) Как обнаружили наши коллеги и другие люди, ИИ иногда дает ошибочные ответы при вычислении простых арифметических выражений.

3) ИИ не знает понятий «доказательство», «все», «логический вывод», «проверить». Вместе с тем, ИИ знает понятие «вычислить снова» и получает другой результат, правильный или более правильный.

4) Это можно объяснить тем, что ИИ работает с текстами, имеющимися в Интернете, они являются неопределенными из-за 1) и в них могут быть ошибки.

5) По этой же причине можно обманывать ИИ в режиме диалога. Каждый ответ человека ИИ считает истинным высказыванием и отказывается от своих правильных высказываний.

6) Результаты, данные ИИ, нельзя использовать, как истинные, среди всего многообразия живого на Земле интеллектом обладают только люди.

7) Рекомендуется использовать ИИ для поиска известных публикаций по теме научной работы. Для этого нужно формулировать вопрос без использования специальных терминов; несколько раз задавать вопрос в разных формулировках. Так нами было найдено повторное открытие явления «иргөө» – дискретная оптимизация с помощью синергетики [11].

6. Заключение

Мы надеемся, что эта статья будет способствовать развитию одаренных студентов с плохими начальными знаниями и поможет в математических исследованиях.

Список литературы

1. Choi Young-Sang, Usenov I.A. On enhancing student learning in data science lectures using LLMs (large language models). *Theses of reports of International scientific conference “V Borubaev’s Readings”*, Bishkek, Institute of Mathematics, 2024, p. 77.
2. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 1975, Vol. 8, pp. 199-249, 301-357; Vol. 9, pp. 43-80.
3. Pankov P.S., Bayachorova B.J., Karabaeva S.Zh. Mathematical models of human control, classification and application. *Herald of Institute of Mathematics of NAS of KR*, 2020, No. 1, pp. 88-95.
4. Kenenbaeva G.M., Jamalova V. Zh. [Problems of using artificial intelligence in mathematical research]. *Theses of reports of International scientific conference “V Borubaev’s Readings”*, Bishkek, Institute of Mathematics, 2024, p. 94 (in Russ).

5. Dylan W. *Embedded Formative Assessment*. Hawker-Brownlow Education, 2011.
6. <https://math.stackexchange.com/questions/1024280/most-ambiguous-and-inconsistent-phrases-and-notations-in-maths>
7. <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Miller/ambiguities/>
8. Pankov P.S., Bayachorova B.J., Karabaeva S.Zh. Peculiarities of translation of mathematical texts (English-Kyrgyz-Russian). *Herald of Institute of Mathematics of NAS of KR*, 2020, No. 2, pp. 98-105.
9. Kenenbaeva G. Frame-work Definitions of Effects and Phenomena and Examples in Differential and Difference Equations. *Journal of Mathematics and System Science*, 2014, 4, pp. 766-768.
10. Maurel C., Ballouz R.-L., Richardson D.C., Michel P., Schwartz S.R. Numerical simulations of oscillation-driven regolith motion: Brazil nut effect. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017, Volume 464, Issue 3, pp. 2866–2881.
11. Михаэлис В. В., Михаэлис С.И. Применение искусственного интеллекта при решении математических выражений // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами» электронный научный журнал, 2024, No1, с.21-26.

Кененбаева Гулай Мекишовна, д.ф.-м.н., проф. ООП «Прикладная математика и информатика», КНУ им. Ж.Баласагына;

720052, Кыргызстан, Бишкек; e-mail: gkenenbaeva@mail.ru

Аскар кызы Лира – к.ф.-м.н., доцент ООП «Прикладная информатика»; КНУ им. Ж.Баласагына;

720038, Кыргызстан, Бишкек; e-mail: lira130780@mail.ru;

Султанкул кызы Айнура – к.ф.-м.н., доцент ООП «Прикладная информатика»; КНУ им. Ж.Баласагына;

720052, Кыргызстан, Бишкек; e-mail: aikas06@mail.ru;

Бейшебаева Жыпуаркуль Качкыновна – к.ф.-м.н., доцент ООП «Прикладная математика и информатика» КНУ им. Ж.Баласагына;

720052, Кыргызстан, Бишкек; e-mail: jypara2016@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Б.Р. Сабитов¹, А.О. Рыспаев¹, Ш. Жусупкелдиев, А.Дж. Картанова,
Э.А. Эшаров², С. Эргешбай уулу³

¹Кыргызский Национальный Университет им. Ж. Баласагына, г. Бишкек

²Кыргызский Государственный Университет им. И. Арабаева. г. Бишкек

³Ошский Государственный Университет, г. Ош

***Аннотация.** В данной статье исследуется проблема оптимизации глубокого обучения (DL), которая представляет с собой современную инструмент обработки изображений. Для задач сельского хозяйства построены модели основанные на реальных данных аграрных систем в условиях изменения климата. Разработаны модели для прогнозирования болезни растений основанные на сверточных нейронных сетях и их оптимизация. Проведен обзор исследовательских работ по прогнозированию различных задач сельского хозяйства, в которых используются сверточные нейронные сети (CNN), представляющие с собой особый класс задач глубокого обучения. Рассматриваются изучаемые сельскохозяйственные проблемы, используемые модели, источники используемых данных и общая точность для построения качественных моделей по распознаванию болезней растений. Сверточные нейронные сети сравниваются с другими существующими технологиями, а также перечисляются преимущества и недостатки использования CNN в сельском хозяйстве. Рассматривается задача оптимизации сверточных нейронных сетей, на базе оптимизаторов глубокого обучения.*

***Ключевые слова:** глубокое обучение, сверточные нейронные сети, оптимизация нейронных сетей, модели, сельское хозяйство, распознавание болезней растений.*

Введение

Для задач сельского хозяйства построены модели на основе методов глубокого обучения. Для обработки данных применяются методы машинного обучения и передовые методы оптимизации адаптированные к различным сверточным нейронным сетям. Общей задачей для этих сетей является достижение наивысшей точности за короткое время. Задача решается путем модификации сетей и улучшения предварительной обработки данных, где можно увеличить точность. При этом время обучения модели остается свободным. С использованием методов оптимизации, можно повысить точность, не увеличивая время. Это достигается путем настройки гиперпараметров, которые необходимы для нейронных сетях. Рассмотрены модификации алгоритмов оптимизации первого и второго порядка.

Оптимизаторы существенно повлияли на развитие нейронных сетей посредством применения инструментов, предназначенных для оптимизационных задач. После этого мы показываем способы разработки алгоритмов оптимизации в дальнейших исследованиях с использованием современных нейронных сетей. Помимо распознавания образов, прогнозирования временных рядов и обнаружения объектов, существует множество других приложений в машинном обучении: квантовые вычисления, уравнения с частными производными и интегро-дифференциальные уравнения, а также стохастические процессы. Для повышения точности нейронных сетей, кроме выбора ее соответствующей архитектуры, важным остается набор данных участвующие в обучении модели. При этом во многих случаях требуются различные подходы методов увеличения данных [1], важным вопросом остается математическое обоснование используемого подхода, для построения модели на основе нейронной сети [2], обучение моделей на основе трансферного обучения

остается самым надежным методом нейронной сети [3]. Все существующие подходы, которые предназначены для повышения точности различных архитектур нейронных сетей, хорошо подходят для обучения моделей на конкретных данных обучения. При этом для многих прикладных задач, например задач сельского хозяйства теряется обобщенность построенных моделей. Модели теряют способность для ее применения для конкретных данных сельского хозяйства имеющие сложные нелинейные связи между признаками. В целом, существующие универсальные методы, улучшают обучение нейронных сетей в процессе ее обучения.

1. Постановка задачи

В данной работе мы исследуем задачу оптимизация функции потерь, ориентированных к задачам сельского хозяйства, например построение модели урожайности для сельскохозяйственных культур. Основная проблема в построении нейросетей является выбор оптимизатора нейронных сетей т.е. определения спуска к глобальному минимуму. Разработаны многие подходы с использованием стохастического градиентного спуска (SGD) [4]. В данной работе рассмотрено оптимизатор первого и второго порядка для нейронных сетей CNN, получены различные модели распознавания болезней сельскохозяйственных растений и урожайности стратегически важных культур для регионов страны.

Стохастический градиентный спуск и для случая исчезающего градиента была обобщена на импульсный метод Нестерова [5]. Данный метода была использовано для минимизации функционала ошибок со множеством локальных минимумов. Результативность данного подхода состояло в том, добиться за меньшее количество итераций достигнуть желаемой точности. Данные методы градиентного спуска имеют наибольшее применения для построения в нейронном моделирования для многих прикладных задач. Согласно структуре SGD, в работе [6], были предложены AdaGrad, В работах RMSProp [7], Adadelta [8] и Adam [9] рассмотрены алгоритмы, которые позволяют достичь минимума функций, содержащих локальные экстремумы. Многие из перечисленных подходов достигают глобального минимума учитывая только направления градиента. Экспоненциальных скользящих средних недостаточно для минимизации таких тестовых функций. Та же техника используется в модификациях Adam и SGD. Обновляя экспоненциальные скользящие средние, алгоритмы типа Adam строятся для улучшения минимизации многоэкстремальных функций. Преимущество этих подходов в том, что инициализация смещений может быть нейтрализована, что приводит к оценкам с поправкой на смещение. Однако они могут минимизировать функцию потерь, но не всегда достигать глобального минимуме. Поэтому для достижения более высокой точности следует применять оптимизацию второго порядка. Основная цель алгоритмов оптимизации второго порядка [10-11] — достичь глобального минимума за короткое время, поскольку они медленнее алгоритмов оптимизации первого порядка. Алгоритмы второго порядка учитывают выпуклость (кривизну) целевых функций матрицей Гессе. Этот подход называется методом оптимизации Ньютона [12]. Вычисления обратной матрицы Гессе усложняют оптимизацию второго порядка. В машинном обучении оптимизация Ньютона является неэффективным инструментом из-за количества нейронов, которое может превышать несколько сотен. Однако аппроксимация обратной матрицы Гессе позволяет минимизировать функцию потерь в пределах требуемых временных затрат. Такой метод называется методом квазиньютоновской оптимизации [13].

2. Алгоритм решения задачи

Рассмотрено задач классификации алгоритмов оптимизации, определены их свойства и предоставлено методы минимизации для дальнейших исследований. Для обучения

нейронной сети определены процедуры оптимизации, которая включает в себя определение параметров сети, минимизирующих функцию потерь. Эти модели требуют настройки огромных наборов данных и многих параметров модели. В эпоху искусственного интеллекта поиск оптимального метода обработки огромных объемов данных является вдохновляющей и сложной задачей. Стохастический градиентный спуск (SGD) является простым и успешным среди моделей машинного обучения. За последние несколько лет было предложено много работ для решения задач оптимизации или улучшения подходов к оптимизации в машинном обучении. После методов оптимизации на основе градиента мы демонстрируем альтернативные подходы к минимизации функции потерь. Для пространства обучающих данных $\Omega = x, y : (x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ сформулируем общую задачу оптимизации следующим образом:

$$L(\hat{\omega}) = \min L(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i(f(x_i, \omega), y_i), \text{ минимум берется по } \omega \quad (1)$$

где ω представляет собой веса модели, f модель для прогнозирования, которую хотим построить, а L_i функционал ошибок для минимизации, y_i -прогнозируемая функция, которую хотим прогнозировать.

Введем некоторое случайное подмножество ξ используется для представления подмножества (или группы подмножеств). Кроме того, F представляет собой комбинацию функции потерь $L(\omega)$ и функции прогнозирования f , поэтому потери перепишем в виде $F(\omega, \xi)$, для любой данной пары (ω, ξ) . Рассмотрены фундаментальные алгоритмы оптимизации для минимизации функционала ошибок с применением градиентного спуска и ее вариантов.

Пакетный градиентный спуск

Для обновления весов ω метод градиентного спуска вычисляет градиент функции потерь. Скорость обучения η определяет объем каждой итерации, влияя на количество итераций, необходимых для получения идеального значения. Пакетный градиентный спуск [34], также известный как полный градиентный спуск, использует все выборки для обновления параметров. Следующие шаги чередуются до сходимости алгоритма:

$$\omega^{j+1} = \omega^j - \frac{\eta}{n} \sum_{i=1}^n \nabla F(\omega^j, \xi_i), \quad (2)$$

где ω^j — результат предыдущей итерации.

Цикл обучения всего набора данных называется «эпохой», и пакетный градиентный спуск прекращает обновление в конце всех эпох обучения. Одно обновление набора данных требует расчета всех их градиентов. Пакетный градиентный спуск сходится очень медленно для больших данных и неразрешим для наборов данных, которые не помещаются в памяти. Однако этот метод уменьшает частоту обновлений и приводит к стабильному решению.

Метод пакетного градиентного спуска прост в использовании и если целевая функция выпуклая, то решением является глобальное решение. В выпуклых задачах пакетный градиентный спуск имеет линейную скорость сходимости и гарантированно сходится к локальному минимуму.

На базе градиентного спуска легко реализуются логистическая регрессия, регрессия гребня и регрессии Лассо. Регрессия Лассо не дифференцируема. Таким образом, мы можем использовать ее субградиент. Однако в данном случае глубокое обучение слишком много слоев, что приводит к нестабильному градиенту.

Стохастический градиентный спуск

Рассмотрено также вариант алгоритма градиентного спуска, стохастический градиентный спуск (SGD). Вместо вычисления всего пакета градиента функционала

$$E[F(\omega; \xi_i)] \text{ или } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i(\omega; \xi_i)$$

он использует только одну случайную выборку для оценки градиента ξ_i из пакета $F_i(\omega; \xi_i)$ в каждой итерации. Пакетный градиентный спуск проводит избыточные вычисления для крупномасштабных задач, поскольку он пересчитывает градиенты связанных образцов перед каждым изменением параметра, тогда как SGD выполняет только одно вычисление за итерацию. Алгоритм SGD, прост в обращении в использовании и экономит память. Для построения минимизирующей последовательности существуют различные алгоритмы оптимизации на основе SGD. В данной работе с помощью рекуррентной минимизирующей последовательности

$$\omega^{i+1} = \omega^i - \alpha^i \nabla_{\omega} L(\omega_i), \quad (3)$$

где ω^i – это вес, $L(\omega_i)$ – это функция потерь со своим градиентом $\nabla_{\omega} L(\omega_i)$, α – скорость обучения градиентного метода строится минимизирующая последовательность. С помощью CNN построено модели распознавания болезни для широкого класса растений стратегического назначения, в которой вошли картофель, кукуруза, пшеница, сельскохозяйственные люцерны и травы, а также распознавания вирусных заболеваний садовых культур. Для класса задач с исчезающим градиентом, рассмотрено также стохастический процесс Нестерова, где рекуррентная формула определяется следующей последовательностью

$$\omega^{i+1} = \omega^i - \alpha^i (\nabla_{\omega} L(\omega_i) + \mu b^{i+1}) \quad (4)$$

где ω^0 – является начальной точкой, а добавочный член b^{i+1} определяется из рекуррентного соотношения.

$$b^{k+1} = \mu b^k + (1 - \tau)(\nabla_{\omega} F(\omega^k) + \lambda \omega^k), \quad (5)$$

В работе было рассмотрено модифицированная версия градиентного спуска, оптимизатор Адама, которая использует экспоненциальные скользящие средние градиента и его квадраты. Направления градиента и средние значения моментов, при минимизации функции потерь, в данном случае сходится в глобальный минимум с более высокой частотой. Итерационная формула определяется по следующим формулам:

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t, \quad v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (6)-(7)$$

$$\hat{m}_t = m_t / (1 - \beta_1^t), \quad \hat{v}_t = v_t / (1 - \beta_2^t), \quad (8)-(9)$$

$$\omega_t = \omega_{t-1} - \alpha \hat{m}_t / (\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon) \quad (10)$$

Здесь β_1, β_2 называются моментами, m_t и v_t экспоненциальные скользящие средние от g_t и g_t^2 соответственно. Оценка ошибки по методу Адам отклонения среднего определяется по метрике.

$$R(T) = \sum_{i=1}^T [F_i(\omega^i) - F_i(\omega^*)] \quad (11)$$

3. Численные расчеты

Ниже представлены результаты применения CNN для распознавания болезней картофеля и кукурузы.

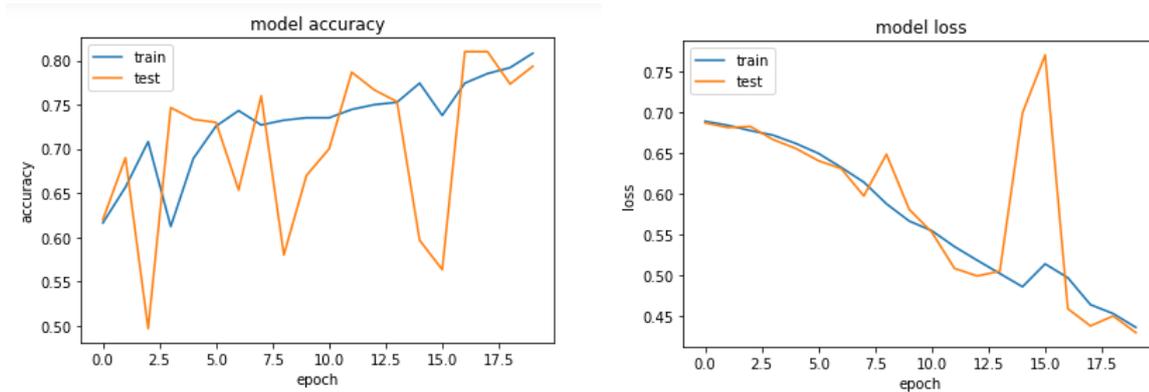


Рис.1. Использование оптимизатора стохастического градиентного спуска для распознавания болезней картофеля полученная с помощью архитектуры стохастического градиентного спуска

- Conv2D -> MaxPool -> Conv2D -> MaxPool -> Dense -> Dense -> Sigmoid
 ** Optimizer **Стохастический градиентный спуск Batch size = 32 Epoch = 20

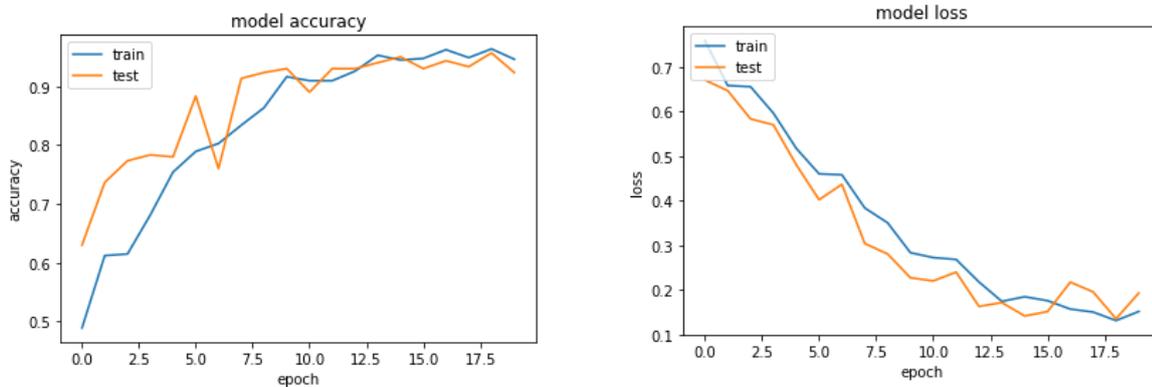


Рис. 2. Использование оптимизатора Адам для распознавания болезней картофеля

Архитектура нейронной сети имеет следующую структуру с оптимизатором сети Adam: Conv2D -> MaxPool -> Conv2D -> MaxPool -> Dense -> Dropout -> Dense -> Dropout -> (Dense -> Sigmoid) Оптимизатор Adam Batch size = 32 Epoch = 20

4. Заключение

В статье рассмотрены задачи оптимизации нейронных сетей бинарной и многоклассовой задач сельского хозяйства. Доказано преимущество моделей, построенных на основе оптимизаторов Адам, стохастического градиентного спуска (SGD) и RMSprop для многоклассовых задач распознавания болезней сельскохозяйственных растений,

включая садовые культуры. Предлагаются численные методы оптимизации моделей, базирующиеся на вариантах градиентного спуска для задач DL. Обсуждается будущий потенциал численного подхода и ее использования CNN для решения проблемы выявления различных болезней растительности на садовых участках Иссык-Кульской области. Общие результаты показали, что CNN представляет собой многообещающий метод с высокой производительностью с точки зрения точности и точности классификации, превосходящий существующие широко используемые методы обработки изображений. Большое внимание уделяется технологиям сбора данных больных и здоровых листьев сельскохозяйственных культур, от которого зависит окончательный успех каждой построенной модели CNN.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shorten, C.; Khoshgoftaar, T.M. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *J. Big Data* 2019, 6, 60. [Google Scholar] [CrossRef]
2. Qian, K.; Pawar, A.; Liao, A.; Anitescu, C.; Webster-Wood, V.; Feinberg, A.W.; Rabczuk, T.; Zhang, Y.J. Modeling neuron growth using isogeometric collocation based phase field method. *Sci. Rep.* 2022, 12, 8120. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
3. Liu, Y.; Shi, Y.; Mu, F.; Cheng, J.; Li, C.; Chen, X. Multimodal MRI Volumetric Data Fusion With Convolutional Neural Networks. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2022, 71, 1–15. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Li, Q.; Xiong, D.; Shang, M. Adjusted stochastic gradient descent for latent factor analysis. *Inf. Sci.* 2022, 588, 196–213. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Dogo, E.M.; Afolabi, O.J.; Nwulu, N.I.; Twala, B.; Aigbavboa, C.O. A Comparative Analysis of Gradient Descent-Based Optimization Algorithms on Convolutional Neural Networks. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems (CTEMS), Belgaum, India, 21–22 December 2018*; pp. 92–99. [Google Scholar]
6. Ward, R.; Wu, X.; Bottou, L. AdaGrad stepsizes: Sharp convergence over nonconvex landscapes. *J. Mach. Learn. Res.* 2020, 21, 9047–9076. [Google Scholar]
7. Xu, D.; Zhang, S.; Zhang, H.; Mandic, D.P. Convergence of the RMSProp deep learning method with penalty for nonconvex optimization. *Neural Netw.* 2021, 139, 17–23. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
8. Zeiler, M.D. Adadelta: An adaptive learning rate method. *arXiv* 2012, arXiv:1212.5701. [Google Scholar]
9. Singarimbun, R.N.; Nababan, E.B.; Sitompul, O.S. Adaptive Moment Estimation To Minimize Square Error In Backpropagation Algorithm. In *Proceedings of the 2019 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICoSNIKOM), Medan, Indonesia, 28–29 November 2019*; pp. 1–7. [Google Scholar]
10. Seredynski, F.; Zomaya, A.Y.; Bouvry, P. Function Optimization with Coevolutionary Algorithms. *Intell. Inf. Process. Web Min. Adv. Soft Comput.* 2003, 22, 13–22. [Google Scholar]
11. Osowski, S.; Bojarczak, P.; Stodolskia, M. Fast Second Order Learning Algorithm for Feedforward Multilayer Neural Networks and its Applications. *Neural Netw.* 1996, 9, 1583–1596. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Tyagi, K.; Rane, C.; Irie, B.; Manry, M. Multistage Newton’s Approach for Training Radial Basis Function Neural Networks. *SN Comput. Sci.* 2021, 2, 366. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Likas, A.; Stafylopatis, A. Training the random neural network using quasi-Newton methods. *Eur. J. Oper. Res.* 2000, 126, 331–339. [Google Scholar] [CrossRef]

*Сабитов Баратбек Рахманович, к.ф.-м.н, доцент Кыргызского Национального
Университета им. Ж. Баласагына, г. Бишкек, sabitov.baratbek@mail.ru*
*Рыспаев А.О. к.ф.-м. н, доцент Кыргызского Национального Университета им.
Ж. Баласагына, г. Бишкек, guspaev.amantur@yandex.ru*
*Жусупкелдиев Ш. к.ф.-м. н, доцент Кыргызского Национального Университета им.
Ж. Баласагына, г. Бишкек, sharshen58@mail.ru*
*Картанова А.Дж. к.ф.-м. н, доцент Кыргызского Национального Университета им.
Ж. Баласагына, г. Бишкек, a.kartanova@mail.ru*
*Эшаров Э.А., к.ф.-м. н, доцент Кыргызского Государственного Университета им.
И. Арабаева. г. Бишкек, elzare78@mail.ru*
*Эргешбай уулу Суйунбек , старший преподаватель Ошскго Государственного
Университета, г. Ош, suiun20021990gmail.com*

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Б.И. Бийбосунов¹, Б.Р. Сабитов², С.К. Бийбосунова²,
М. Асанкулова³, Н.С. Сейтказиева²

¹Кыргызский Государственный Университет им. И. Арабаева, г. Бишкек

²Кыргызский Национальный Университет им. Ж. Баласагына, г. Бишкек

³Институт Математики НАН Кыргызской Республики, г. Бишкек

УДК 004.891.3

Abstract. В данной работе исследуется применение технологий глубокого и машинного обучения к задачам сельского хозяйства. На основе оптимизаторов нейронных сетей рассмотрены задача минимизации общего функционала ошибок, для построения моделей по распознаванию болезней растений. Для переобученных моделей построены регуляризующие алгоритмы А.Н. Тихонова.

Keywords: задачи сельского хозяйства, нейронные сети, глубокое обучение, оптимизация, модели, сверточные нейронные сети, переобученные модели, регуляризация, регрессия Лассо, Риджа и эластична сеть.

Введение

Глубокое обучение представляет большой интерес в таких областях, как здравоохранение, астрономия и информатика, где данные преобразуются в знания и обрабатываются разумно. Это технология интеллектуального анализа информации, основанная на данных, которая может обрабатывать огромные объемы данных. С экспоненциальным ростом данных традиционный метод градиентного спуска больше не может эффективно решать масштабные задачи машинного обучения. Существует два типа распространенных методов, и один из них заключается в использовании как можно большего количества обучающих выборок, но выполнении лишь небольшого количества вычислений на выборку. Другой заключается в использовании небольшой части данных для высокоинтенсивных вычислений. В работах [1]-[3], предполагается, метод более эффективнее, по сравнению стандартных алгоритмов оптимизации, которым является стохастический градиентный спуск (SGD). С быстрым обновлением и развитием нейронных сетей алгоритмы градиентного спуска получили широкое применение. Например, в PyTorch есть пакет оптимизаторов, который поддерживает наиболее распространенные алгоритмы оптимизации, включая SGD, Adagrad, Adadelta, RMSprop, Adam и предназначен для выбора параметров оптимизаторов. В работе данный пакет был использован для создания различных моделей и обсуждаются существующие алгоритмы нейронных сетей и их типичные применения в крупномасштабном машинном обучении и глубоком обучении. Основные положения данной статьи резюмируются следующим образом: Постановка задачи оптимизации для больших данных и обзор связанных с ней моделей глубокого обучения. Анализ обзора и обсуждения последних достижений в области SGD для задач сельского хозяйства. Создание приложений и исследование общих задач оптимизации задач сельского хозяйства.

В настоящее время существует лишь несколько обзоров, связанных с SGD [1]-[12]. По сравнению с ними наш вклад делает следующее:

- Обобщает алгоритмы, связанные с SGD, с точки зрения машинного обучения и оптимизации.

- Рассмотрено проксимальные стохастические методы, которые до сих пор еще нуждались в обобщении.

- Предоставляет математические свойства моделей и методов.

Обсуждается разрыв между теорией и приложениями. Компьютерное зрение направлено на то, чтобы позволить компьютерам имитировать человеческие глаза, чтобы распознавать, отслеживать и измерять объекты [13]. Для задач классификации изображений LeNet-5 [14] и AlexNet [15] являются первыми предложенными сверточными моделями. VGGNet [Karen 204], ResNet [Kaiming 205] и ResNeXT [Saining 206] позже были разработаны как улучшенные методы. Для задач обнаружения объектов были предложены R-CNN [16], YOLO [17] и R-FCN [18]. Для задач обработки видео авторы [19] заменили свертки в EfficientDet и HRNet на пропущенные свертки без потери точности и одновременного снижения вычислительных затрат. Обычно используемые операторы решения для этих моделей - SGD. Новая модель рекуррентной сети свертки (RCN) была предложена в [20], которая сочетает в себе RNN и CNN. В статье [21] представлена модель условной диффузии для задач перевода изображения в изображение. SR3 разработал вероятностную модель диффузии с шумоподавлением для сверхразрешения [22]. Эти три модели используют Адама в качестве решателя оптимизации.

1. Постановка задачи

Необходимо создать модели урожайности и распознавания болезней растений как основная проблема сельского хозяйства, основанное на методах машинного обучения и глубокого обучения. Для переобученных моделей разработать методы основанное на решении задач машинного обучения регуляризации. Для повышения точности переобученных моделей глубокого обучения при работе с совершенно новыми данными из проблемной области, необходимо построить модели с регуляризаторами различного характера. Рассматривается задача минимизации функционала ошибки модели с учетом современных оптимизаторов. По результатам построенных моделей созданы веб системы, основанные на базе знаний в виде искусственного интеллекта.

2. Алгоритмы решения задачи

Основной целью работы оптимизация вычислительной сети для обучения нейронной сети использованы вариантов градиентного спуска, стохастический градиентный спуск, оптимизаторы Адам и RMSProp. Были созданы различные архитектуры CNN, такие как AlexNet, VGG, Inception и ResNet для большого класса задач сельского хозяйства. Многие задачи экспериментированы с архитектурами нейронных сетей комбинируя CNN с другими алгоритмами: линейная регрессия (LR), метод опорных векторов (SVM), градиентный бустинг (XGBoost) и случайный лес (RandomForest) для конкретных практических задач сельского хозяйства.

Для переобученных моделей построены регрессионные модели на базе регуляризаторов Лассо-регрессия с добавлением «абсолютное значение величины» коэффициента в качестве штрафного члена к функции потерь (L). Создан модель регрессии Риджа, использующая технику регуляризации L2, которая добавляет «квадрат величины» коэффициента в качестве штрафного члена к функции потерь (L). Рассмотрено модель эластичная чистая регрессия, которая представляет модель комбинацию регуляризации L_1 и L_2 . Это означает, что мы добавляем абсолютную норму весов, а также квадрат меры весов. В работе предложено технологии архитектуры CNN, такие как AlexNet, VGG, Inception и ResNet для большого класса задач сельского хозяйства. Многие задачи экспериментированы с другими архитектурами комбинируя CNN с другими алгоритмами линейная регрессия (LR), метод опорных векторов (SVM), градиентный бустинг (XGBoost)

и случайный лес(RandomForest) для конкретных практических задач сельского хозяйства. Рассматривается задача минимизации функционала

$$\omega^+ = P_C(\omega - \eta \nabla J(\omega))$$

$$J(\omega) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(f(x^{(i)}; \omega), y^{(i)}) \rightarrow \min \quad (1)$$

Приведены численные результаты, выполненные с помощью методов оптимизации.

$$J(\omega) = J(\omega_0) + (\omega - \omega_0)^T \nabla_{\omega} J(\omega_0) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(f(x^{(i)}; \omega_0), y^{(i)}) - (\omega - \omega_0)^T \nabla_{\omega} L(f(x^{(i)}; \omega_0), y^{(i)}) \rightarrow \min \quad (2)$$

Хорошо известно, что добавление шума к входным данным нейронной сети во время обучения может в некоторых случаях привести к значительному улучшению производительности обобщения. Предыдущая работа показала, что такое обучение с шумом эквивалентно форме регуляризации, при которой к функции ошибок добавляется дополнительный член. Однако член регуляризации, который включает в себя вторые производные функции ошибок, не ограничен снизу и поэтому может привести к трудностям, если он используется непосредственно в алгоритме обучения, основанном на минимизации ошибок. В этой статье мы показываем, что для целей обучения сети член регуляризации можно привести к положительно определенной форме, которая включает только первые производные сетевого отображения. Функции ошибок используют суммы квадратов член регуляризации, которые принадлежат классу обобщенных Тихоновских регуляризаторов. Прямая минимизация регуляризованной функции ошибок представляет собой практическую альтернативу обучения с шумом. Лассо-регрессия добавляет «абсолютное значение величины» коэффициента в качестве штрафного члена к функции потерь (L). Лассо-регрессия также помогает нам добиться выбора признаков, штрафуя веса примерно до нуля, если этот признак не служит никакой цели в модели.

$$L(y, \hat{y}, \omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda \sum_{i=1}^n |\omega_i| \quad (3)$$

где, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ -неизвестный вектор, m – количество функций, n – количество объектов y_i – фактическое целевое значение -модель и \hat{y}_i – прогнозируемые целевые значения. Рассмотрено построение модели на основе Риджа регрессии, использующая технику регуляризации в L_2 , называется регрессией Риджа. Ридж-регрессия добавляет «квадрат величины» коэффициента в качестве штрафного члена к функции потерь (L).

$$L(y, \hat{y}, \omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda \sum_{i=1}^n |\omega_i|^2 \quad (4)$$

$$L(y, \hat{y}, \omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda((1-\alpha) \sum_{i=1}^n |\omega_i| + \alpha \sum_{i=1}^n |\omega_i|^2) \quad (5)$$

Алгоритмы оптимизации второго порядка

Алгоритмы оптимизации первого порядка неэффективны для получения глобального минимума целевой гладкой функции. Такие подходы к минимизации обычно учитывают направления градиента на каждой итерации. Настройка и производительность алгоритмов оптимизации первого порядка могут только повысить точность и избежать некоторых локальных минимумов. Таким образом, предложены алгоритмы оптимизации второго порядка. Они достигают минимума с учетом не только направлений градиентов, но и выпуклости (кривизны) целевой функции, которая измеряется с помощью гессиана. Такой подход называется методом Ньютона.

Основная идея метода оптимизации Ньютона основана на градиентном спуске, содержащем вычисление обратного гессиана гладкой целевой функции. Такой подход повышает точность минимизации функций с несколькими числами локальных минимумов.

Для аппроксимации второго порядка функционал имеет вид аппроксимации:

$$\begin{aligned}
 J(\omega) = & J(\omega_0) + (\omega - \omega_0)^T \nabla_{\omega} J(\omega_0) + \frac{1}{2} (\omega - \omega_0)^T H(\omega - \omega_0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [L(f(x^{(i)}; \omega_0), y^{(i)})] - \\
 & (\omega - \omega_0)^T \nabla_{\omega} L(f(x^{(i)}; \omega_0), y^{(i)})] + \\
 & + \frac{1}{2} (\omega - \omega_0)^T H(\omega - \omega_0),
 \end{aligned} \tag{6}$$

где матрица Гесса, определяется по известной формуле:

$$H = \frac{\partial^2}{\partial \omega_i \partial \omega_j} J(\omega).$$

Для обновления параметров используется рекуррентная формула

$$\omega^* = \omega_0 - H^{-1} \nabla_{\omega} J(\omega_0) \tag{7}$$

Или аналогично в виде рекуррентной формулы:

$$\omega_{i+1} = \omega_i - Hess(\omega_i)^{-1} \nabla_{\omega} J(\omega_i), \tag{8}$$

Построены различные модели использующие различные оптимизаторы нейронных сетей. Алгоритм оптимизации Ньютона описывается как

$$Hess(\omega_i) = \nabla_{\omega}^2 J(Hess(\omega_i)) \tag{9}$$

Эта итерационная формула получена из разложения Тейлора второго порядка.

В работе [23] представлен метод оптимизации минимальной невязки Ньютона (Ньютон-MR), который вычисляет матрицу Гессе с помощью обратного оператора Мура-Пенроуза [24] т. е. псевдообратной матрицы.

$$\omega_{i+1} = \omega_i + p_i = \omega_i + [\nabla_{\omega}^2 J(\omega_i)]^+ \nabla J(\omega_i) \tag{10}$$

Знак + означает псевдообратную матрицу. По методам Ньютона была предложена выпуклая оптимизация. Такой подход описан в [23] с соответствующими алгоритмами, которые вычисляют направление обновления с учетом случая сильной выпуклости. Однако

существуют и другие модификации методов оптимизации Ньютона, отличающиеся простотой реализации и реализации в нейронных сетях.

Проксимальный градиентный спуск.

В предыдущих разделах обсуждался гладкий регуляризатор, такой как квадратный L_2 норма. Для негладкого регуляризатора можно использовать субградиентный метод. Другой метод — метод проксимального градиента (обобщенный градиентный спуск), который имеет лучшую скорость сходимости, чем вторичный градиент. В обобщенном смысле это считается проекцией.

Рассмотрен случай, когда p ненулевой негладкий и проксимальный оператор $p(\omega)$ легко вычислить. Вот задача:

$$\min L(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i(f(x_i; \omega, \theta), y_i) + \lambda p(\omega), \omega \in R^d \quad (11)$$

где $\lambda > 0$. Проксимальный оператор p определяется как

$$P_{\eta p}(u) = \operatorname{argmin}(p(\omega) + \frac{1}{2\eta} \|\omega - u\|^2), \eta > 0. \quad (12)$$

Или ее можно определить в виде

$$I_C(\omega) = 0, \text{ если } \omega \in C \text{ иначе } \infty, \text{ если } \omega \notin C.$$

где C — выпуклое множество. Проксимальный оператор — это оператор проекции на C , т.е. $P_i(\bullet) = P_C(\bullet)$. Таким образом, шаг определяется как

$$\omega^+ = P_C(\omega - \eta \nabla J(\omega)) \quad (13)$$

то есть выполняется обычное обновление градиента, а затем проецируется обратно на C . Этот метод называется прогнозируемым градиентным спуском. Регуляризаторы всегда вызывают разреженность оптимального решения. Для машинного обучения набор данных содержит много избыточной информации, и увеличение разреженности признаков в наборе данных можно рассматривать как выбор признаков, который упрощение модели. Рассмотрены реализация отдельных методов регуляризации и получены различные модели для задач сельского хозяйства.

3. Численные расчеты

На примере были реализованы регуляризованная модель для переобученной модели сладкого перца и картофеля. В результате точность на данных проверки и тестирования дали хорошие результаты. Вот, процесс реализации.

Epoch 20/20

98/98 [=====] - 72s 737ms/step - loss: 0.0260 - accuracy: 0.9939 - val_loss: 0.0131 - val_accuracy: 0.9974

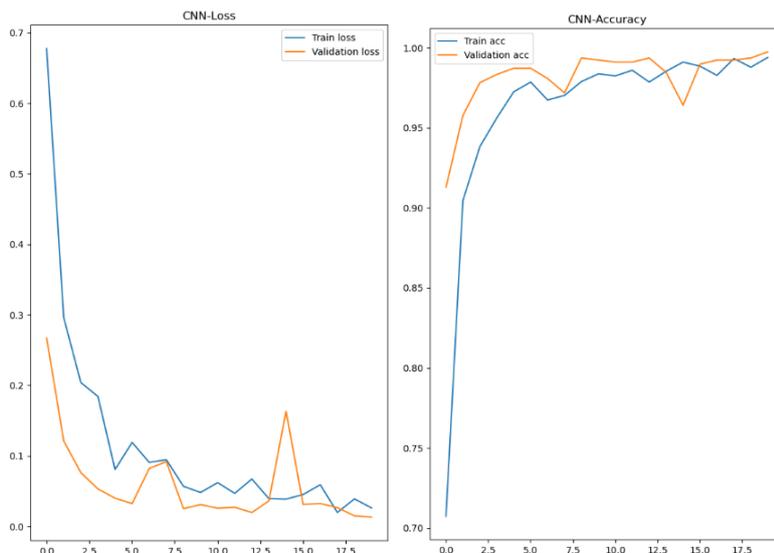


Рис.1. Реализация регуляризации модели болезни сладкого перца

Пример реализации регуляризации модели распознавания болезни картофеля. Точность 99.08 %. Ошибка на тестовых и обучающих данных 0.01. Вот реализация.

Epoch 20/20

69/69 [=====] - 51s 738ms/step - loss: 0.0530 - accuracy: 0.9886 - val_loss: 0.0221 - val_accuracy: 0.9908

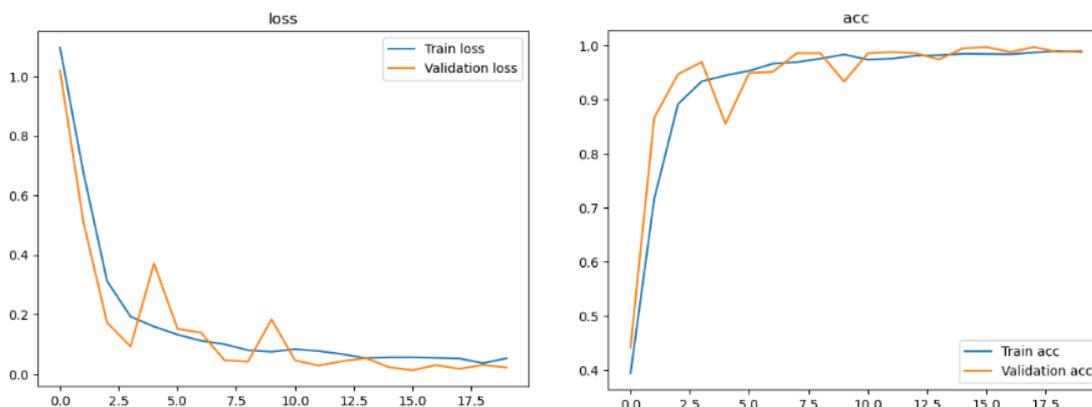


Рис.2. Регуляризованная модель картофеля в пространстве L_2

4. Заключение

В работе проведено исследование применения методов глубокого обучения для широкого круга сельскохозяйственных задач. Выявлены основные факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур с помощью алгоритмов машинного и глубокого обучения.

- созданы базы данных, основанные на климатических и аграрных системах;
- проведен анализ данных задач на базе технологий машинного обучения;
- построены различные нелинейные модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием методов увеличения данных и расширением параметров признакового пространства аграрных и экологических систем.

Рассмотрено математическое обоснование оптимизации на основе оптимизации

- рассмотрен численный метод, основанный на градиентном спуске в различных вариантах, включая пакетный градиентный спуск, стохастический градиентный спуск и мини пакетный градиентный спуск, и исследована их сходимость;

- исследовано применимость метода регуляризации А. Н. Тихонова для переобученных моделей сельского хозяйства;

- проведено математическое обоснование основных проблем в глубоком обучении при обучении нейронных сетей методом регуляризации, обучение моделей с применением сверточных нейронных сетей, оптимизация различных архитектур нейронных сетей и трансферное обучение для построения моделей в глубоком обучении;

- построены сверточные нейронные сети для обучения моделей и для повышения эффективности классификации болезней растений на базе набора данных, собранном в полевых условиях.

В работе были реализованы переобученные модели для различных садовых культур на базе CNN и их технологии регуляризации с соответствующим выбором оптимизаторов нейронных сетей.

Список литературы

1. Bottou, L.; Bousquet, O. The tradeoffs of large scale learning. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* 2008, 20, 161–168. [Google Scholar]
2. Kingma, D.P.; Ba, J. Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv* 2014, arXiv:1412.6980. [Google Scholar]
3. Benzing, F.; Schug, S.; Meier, R.; Oswald, J.; Akram, Y.; Zucchet, N.; Aitchison, L.; Steger, A. Random initialisations performing above chance and how to find them. *arXiv* 2022, arXiv:2209.07509. [Google Scholar]
4. Bottou, L.; Curtis, F.E.; Nocedal, J. Optimization methods for large-scale machine learning. *Siam Rev.* 2018, 60, 223–311. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Sun, R. Optimization for deep learning: Theory and algorithms. *arXiv* 2019, arXiv:1912.08957. [Google Scholar]
6. Sun, S.; Cao, Z.; Zhu, H.; Zhao, J. A survey of optimization methods from a machine learning perspective. *IEEE Trans. Cybern.* 2019, 50, 3668–3681. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed] [Green Version]
7. Socher, R.; Perelygin, A.; Wu, J.; Chuang, J.; Manning, C.D.; Ng, A.Y.; Potts, C. Recursive deep models for semantic compositionality over a sentiment treebank. In *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Seattle, WA, USA, 18–21 October 2013; pp. 1631–1642. [Google Scholar]
8. Fan, A.; Lewis, M.; Dauphin, Y. Hierarchical neural story generation. *arXiv* 2018, arXiv:1805.04833. [Google Scholar]
9. Meng, F.; Zhang, J. DTMT: A novel deep transition architecture for neural machine translation. *Proc. Aaai Conf. Artif. Intell.* 2019, 33, 224–231. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
10. Socher, R.; Huang, E.H.; Pennin, J.; Manning, C.D.; Ng, A. Dynamic pooling and unfolding recursive autoencoders for para-phrase detection. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* 2011, 24, 801–809. [Google Scholar]
11. Yin, W.; Schetze, H.; Xiang, B.; Zhou, B. Abcnn: Attention-based convolutional neural network for modeling sentence pairs. *Trans. Assoc. Comput. Linguist.* 2016, 4, 259–272. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Devlin, J.; Chang, M.W.; Lee, K.; Toutanova, K. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv* 2018, arXiv:1810.04805. [Google Scholar]

13. Ha, H.Y.; Yang, Y.; Pouyanfar, S.; Tian, H.; Chen, S.C. Correlation-based deep learning for multimedia semantic concept detection. In International Conference on Web Information Systems Engineering; Springer: Cham, Switzerland, 2015; pp. 473–487. [Google Scholar]
14. LeCun, Y.; Bottou, L.; Bengio, Y.; Haffner, P. Gradient-based learning applied to document recognition. Proc. IEEE 1998, 86, 2278–2324. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
15. Krizhevsky, A.; Sutskever, I.; Hinton, G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Adv. Neural Inf. Process. Syst. 2012, 25, 1097–1105. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
16. Girshick, R.; Donahue, J.; Darrell, T.; Malik, J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Columbus, OH, USA, 23–28 June 2014; pp. 580–587. [Google Scholar]
17. Redmon, J.; Divvala, S.; Girshick, R.; Farhadi, A. You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 26 June–1 July 2016; pp. 779–788. [Google Scholar]
18. Dai, J.; Li, Y.; He, K.; Sun, J. R-fcn: Object detection via region-based fully convolutional networks. Adv. Neural Inf. Process. Syst. 2016, 29, 379–387. [Google Scholar]
19. Habibiyan, A.; Abati, D.; Cohen, T.S.; Bejnordi, B.E. Skip-convolutions for efficient video processing. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Nashville, TN, USA, 20–25 June 2021; pp. 2695–2704. [Google Scholar]
20. Ballas, N.; Yao, L.; Pal, C.; Courville, A. Delving deeper into convolutional networks for learning video representations. arXiv 2015, arXiv:1511.06432. [Google Scholar]
21. Saharia, C.; Chan, W.; Chang, H.; Lee, C.; Ho, J.; Salimans, T.; Fleet, D.; Norouzi, M. Palette: Image-to-image diffusion models. In Proceedings of the ACM SIGGRAPH 2022 Conference Proceedings, Vancouver, BC, Canada, 7–11 August 2022; pp. 1–10. [Google Scholar]
22. Saharia, C.; Ho, J.; Chan, W.; Salimans, T.; Fleet, D.J.; Norouzi, M. Image super-resolution via iterative refinement. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2022. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Li, X.; Orabona, F. On the convergence of stochastic gradient descent with adaptive stepsizes. In Proceedings of the 22nd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, Naha, Japan, 16–18 April 2019; pp. 983–992. [Google Scholar]
23. Xie, Y.; Wu, X.; Ward, R. Linear convergence of adaptive stochastic gradient descent. In Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, Online, 26–28 August 2020; pp. 1475–1485. [Google Scholar]
24. Zeiler, M.D. Adadelta: An adaptive learning rate method. arXiv 2012, arXiv:1212.5701. [Google Scholar]

*Бийбосунов Болотбек Ильясович, д.ф.-м.н., д.т.н, профессор,
Кыргызского Государственного Университета им. И. Арабаева. г.Бишкек,
bbolotbek@mail.ru*

*Сабитов Баратбек Рахманович, к.ф.-м.н., доцент, Кыргызский Национальный
Университет им. Ж. Баласагына, г. Бишкек, sabitov.baratbek@mail.ru*

*Бийбосунова Салтанат Кенешбековна, к.эн, доцент, Кыргызского Государственного
Университета им. И. Арабаева. г. Бишкек, bibosinovas@gmail.com*

*Асанкулова Майрамкан, д.ф.-м.н., д.т.н, профессор, Института Математики НАН
Кыргызской Республики, г. Бишкек, mayram asankulova @mail.ru*

*Сейтказиева Назгул Салбаровна, ст. преподаватель, Кыргызского Государственного
Университета им. И. Арабаева. г. Бишкек, s.nazgul.s@mail.ru*

СЕКЦИЯ 9

Ақпараттық қауіпсіздік

Информационная безопасность

Information Security

ПРОТОКОЛ БЕСЦЕНТРОВОГО КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ СУПЕРПОЗИЦИИ

Е.Е. Бегимбаева^{1,3}, Т.М. Жаксалыков^{1,2}, А. Ахтанов², Р. Пашкевич², О.А. Усатова^{1,3}

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Казахстанско-Британский Технический Университет

³Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Казахстан

УДК 004.056.5

Аннотация. В условиях роста числа кибератак и совершенствования методов взлома, традиционные криптосистемы нуждаются в более надежных решениях. Квантовая криптография, основанная на принципах квантовой механики, предлагает новые подходы к защите данных. В статье представлен протокол децентрализованного квантового распределения ключей, который основан на принципе суперпозиции. Применение квантовых источников, детекторов и оптических компонентов в сочетании с классическими каналами связи обеспечивает высокую точность и надежность системы. Протокол обладает высокой масштабируемостью и способен автоматически обнаруживать попытки несанкционированного доступа, что делает его перспективным для использования в защищенных сетях нового поколения. Данный подход удовлетворяет современным требованиям безопасности и защищает информацию от классических и квантовых угроз. Цель данной статьи — представить новый децентрализованный многопользовательский протокол квантового распределения ключей, основанный на принципе суперпозиции, и продемонстрировать его преимущества в повышении безопасности и эффективности передачи данных.

Ключевые слова: информационная безопасность, кубит, квантовая криптография, квантовое распределение ключей, суперпозиция, квантовая механика.

Введение

В современном мире, где цифровые технологии проникают во все сферы жизни, вопросы информационной безопасности становятся всё более актуальными. Увеличение числа кибератак, использующих всё более сложные методы, представляет серьёзный вызов для существующих криптографических систем. В 2024 году количество кибератак продолжает стремительно расти: по данным IT Governance, в первые месяцы года произошло несколько крупных утечек данных, затронувших тысячи организаций по всему миру.

Информационная безопасность становится критически важной задачей для организаций любого масштаба. Долгое время ключевыми элементами защиты информации оставались такие классические криптографические системы, как инфраструктура открытых ключей (PKI) и протоколы SSL/TLS, основанные на асимметричной криптографии. PKI обеспечивает аутентификацию и шифрование данных с помощью цифровых сертификатов, тогда как SSL/TLS защищает данные при передаче, создавая безопасное соединение между клиентом и сервером. Однако, по мере роста объёмов и значимости передаваемых данных, которые составляют около 402,74 млн терабайт в день, традиционные методы криптографии сталкиваются с новыми вызовами. Современные угрозы и уязвимости требуют разработки более надёжных криптографических методов для защиты информации.

Появление квантовых технологий может радикально изменить текущую парадигму безопасности. Алгоритм Шора, разработанный Питером Шором, является квантовым вычислительным методом, способным эффективно факторизовать большие числа, что

ставит под угрозу безопасность таких криптосистем, как RSA. Квантовые компьютеры, использующие этот алгоритм, могут сократить время взлома ключей с квадриллионов лет до нескольких часов или минут, что ставит под вопрос надёжность современных криптографических методов.

Создание алгоритма Шора стало катализатором развития постквантовой криптографии, направленной на создание алгоритмов, устойчивых к атакам квантовых компьютеров. Одновременно с этим развивается квантовая криптография, основанная на принципах квантовой физики, предлагающая методы передачи данных, изначально защищённые от перехвата и взлома.

Квантовая криптография использует кубиты, обладающие уникальной способностью находиться в состоянии суперпозиции, что позволяет квантовым компьютерам обрабатывать информацию значительно эффективнее классических. Применение таких принципов, как поляризация света и фотонные импульсы, даёт возможность разработать новые методы защиты информации и решать задачи, которые были недоступны для классических криптографических систем.

Преимущества квантового распределения ключей

Одним из наиболее перспективных направлений применения квантовых технологий является обеспечение безопасной передачи данных. Квантовая криптография, впервые предложенная Стивеном Визнером и Чарльзом Беннеттом в 1979 году, основывается на фундаментальных законах квантовой механики, что позволяет достигать беспрецедентного уровня безопасности при передаче секретных ключей между двумя сторонами. В отличие от традиционных криптографических методов, которые опираются на вычислительную сложность, квантовая криптография использует явления квантовой суперпозиции и принцип неопределённости Гейзенберга для обеспечения защищённости данных.

Процесс квантового распределения ключей включает обмен случайной последовательностью кубитов между двумя участниками, что гарантирует обнаружение любых попыток перехвата. Протоколы QKD, такие как BB84 и E91, демонстрируют высокую степень защиты благодаря использованию квантовых свойств фотонов. BB84, разработанный Чарльзом Беннеттом и Жилем Brassаром, использует четыре состояния поляризации фотонов, тогда как E91, предложенный Артуром Эккертом, опирается на явление квантовой запутанности.

Технологические подходы к реализации QKD

Существуют два основных подхода к реализации QKD: с использованием дискретных переменных (DV) и непрерывных переменных (CV). CV-системы, в частности, предлагают преимущества в виде высокой скорости передачи ключей на короткие расстояния и совместимости с существующими телекоммуникационными технологиями. Экспериментальные разработки, продемонстрировавшие практическую осуществимость QKD, были успешно реализованы.

С развитием квантовых технологий возрастает необходимость их интеграции в существующие сети связи. Квантовые сети, обеспечивающие высокий уровень защиты данных, требуют разработки гибридных решений, которые объединяют квантовые и классические модели связи, минимизируя риски и затраты на модернизацию инфраструктуры.

Протокол бесцентрового квантового распределения ключей

Для реализации протокола децентрализованного квантового распределения ключей, основанного на суперпозиции, каждому пользователю требуется лазер для генерации одиночных фотонов (квантовый источник), высокочувствительные фотонные детекторы,

такие как лавинные фотодиоды (APD), для измерения квантовых состояний, а также оптические компоненты, включая поляризационные светоделители, фазовые модуляторы и оптоволоконные каналы для корректной передачи и манипулирования квантовыми сигналами. Кроме того, необходим защищённый классический канал связи для обмена информацией и высокоточные часы с синхронизаторами для координации процессов передачи и измерения.

Процесс подготовки кубита начинается с согласования длины ключа n между хостами по классическому каналу. Далее каждый пользователь генерирует случайные последовательности битов $X_i = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_n\}, x_i \in \{0,1\}$, которые преобразуются в квантовые состояния. Эти состояния кодируются в Z-базисе: $|0\rangle$ или $|1\rangle$, после чего к каждому кубиту применяется вентиль Адамара, переводящий их в состояние суперпозиции:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle), H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

Затем с использованием операции вращения $R_X(\theta)$ вычисляются новые амплитуды состояний кубита, где

$$R_X(\theta) = \exp\left(-i * \frac{\theta}{2} X\right) = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) * I - i * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) X,$$

при этом каждый пользователь выбирает случайный угол θ от 0 до 360 градусов.

На этапе обработка кубитов осуществляется передача кубитов по квантовым каналам и их последующее измерение. Передача кубитов происходит по заранее установленным квантовым каналам, таким как оптоволоконные системы связи. В процессе измерения с помощью специализированных приборов происходит коллапс волновой функции кубитов, что позволяет получить значения переданных квантовых состояний.

Третий этап включает извлечение ключа путём применения булевых функций к амплитудам (a) и (b). Для каждого кубита ключ вычисляется по формуле ($K_i = f(a, b)$), где (f) может быть как определённой булевой функцией, так и набором булевых функций.

Результаты

В ходе выполнения эксперимента были получены следующие результаты. На первом этапе осуществлялась случайная генерация битов каждым узлом. Для генерации использовались псевдослучайные генераторы чисел. Узел А сгенерировал последовательность битов 10101, а узел В — 00010.

Следующим этапом была подготовка кубитов для последующей передачи и обработки. В Таблице 1 представлены результаты процесса подготовки кубита для узла Алисы (А). В каждом случае были определены начальные битовые состояния Z и X, значения параметра R, а также полученные состояния кубитов ($|\varphi_a\rangle$). Аналогичный процесс был проведен для узла Боба (В), результаты которого приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Результат процесса подготовки кубитов Алисы и Боба

Bit	Z	X	R	Результат (А)	Bit	Z	X	R	Результат (В)
1	$ 1\rangle$	$ -\rangle$	333	$ \varphi_{a1}\rangle = \alpha_{a1} 0\rangle + \beta_{a1} 1\rangle$ $ \varphi_{a1}\rangle = -0.85264 0\rangle + 0.52249 1\rangle$	0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	182	$ \varphi_{b1}\rangle = \alpha_{b1} 0\rangle + \beta_{b1} 1\rangle$ $ \varphi_{b1}\rangle = -0.71934 0\rangle + 0.69465 1\rangle$

0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	248	$ \varphi_{a2}\rangle = \alpha_{a2} 0\rangle + \beta_{a2} 1\rangle$ $ \varphi_{a2}\rangle = -0.98162 0\rangle + 0.19080 1\rangle$	0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	287	$ \varphi_{b2}\rangle = \alpha_{b2} 0\rangle + \beta_{b2} 1\rangle$ $ \varphi_{b2}\rangle = -0.98901 0\rangle + (-0.14780) 1\rangle$
1	$ 1\rangle$	$ -\rangle$	13	$ \varphi_{a3}\rangle = \alpha_{a3} 0\rangle + \beta_{a3} 1\rangle$ $ \varphi_{a3}\rangle = 0.62251 0\rangle + (-0.78260) 1\rangle$	0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	359	$ \varphi_{b3}\rangle = \alpha_{b3} 0\rangle + \beta_{b3} 1\rangle$ $ \varphi_{b3}\rangle = -0.71325 0\rangle + (-0.70090) 1\rangle$
0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	119	$ \varphi_{a4}\rangle = \alpha_{a4} 0\rangle + \beta_{a4} 1\rangle$ $ \varphi_{a4}\rangle = -0.25038 0\rangle + 0.96814 1\rangle$	1	$ 1\rangle$	$ -\rangle$	347	$ \varphi_{b4}\rangle = \alpha_{b4} 0\rangle + \beta_{b4} 1\rangle$ $ \varphi_{b4}\rangle = -0.78260 0\rangle + 0.62251 1\rangle$
1	$ 1\rangle$	$ -\rangle$	310	$ \varphi_{a5}\rangle = \alpha_{a5} 0\rangle + \beta_{a5} 1\rangle$ $ \varphi_{a5}\rangle = -0.93969 0\rangle + 0.34202 1\rangle$	0	$ 0\rangle$	$ +\rangle$	57	$ \varphi_{b5}\rangle = \alpha_{b5} 0\rangle + \beta_{b5} 1\rangle$ $ \varphi_{b5}\rangle = 0.28401 0\rangle + 0.95882 1\rangle$

Заключение

Заключительным этапом стало извлечение ключа. В соответствии с определенной булевой функцией, в данном случае функцией XOR, было произведено вычисление значений ключа для каждой пары соответствующих состояний a и b . В итоге установился следующий ключ между Алисой и Бобом: 01111. Этот ключ будет использоваться для дальнейшего шифрования и расшифрования данных в рамках квантового протокола.

Список используемой литературы

1. <https://www.itgovernance.co.uk/blog/global-data-breaches-and-cyber-attacks-in-2024>
2. <https://explodingtopics.com/blog/data-generated-per-day>
3. Rivest, R.L.; Shamir, A.; Adleman, L. Метод получения цифровых подписей и криптосистем с открытым ключом. Commun. ACM 1978, 21, 120–126. [Google Scholar]
4. Shor PW, редактор. Алгоритмы квантовых вычислений: дискретные логарифмы и факторизация. Труды 35-го ежегодного симпозиума по основам компьютерной науки. Los Alamitos: IEEE; 1994. [Google Scholar]
5. Wiesner, S. Сопряженное кодирование. ACM Sigact News 1983, 15, 78–88. [Google Scholar]
6. Brassard, G. Краткая история квантовой криптографии: личная точка зрения. В IEEE Information Theory Workshop on Theory and Practice in Information-Theoretic Security; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2005; Volume 2005, pp. 19–23. [Google Scholar]
7. Bennett CH, Brassard G. Обновление квантовой криптографии. В: Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques. Berlin, Heidelberg: Springer; Aug 1984. pp. 475–480 [Google Scholar]
8. А.К. Ekert, Квантовая криптография на основе теоремы Белла, Physical Review Letters, vol. 67, no. 6, 5 августа 1991 г., стр. 661–663. [Google Scholar]
9. Bennett CH, Brassard G. Квантовая криптография: распределение открытого ключа и подбрасывание монеты. Theor Comput Sci. 2014;560:7–11. [Google Scholar]
10. Muller A, Herzog T, Huttner B, Tittel W, Zbinden H, Gisin N. Системы «Plug and play» для квантовой криптографии. Appl Phys Lett. 1997;70(7):793–5. <https://doi.org/10.1063/1.118224>
11. Wang J, Qin X, Jiang Y, Wang X, Chen L, Zhao F, Wei Z, Zhang Z. Экспериментальная демонстрация системы распределения квантового ключа с поляризационным кодированием на основе внутренне стабильных поляризационно-

модулированных блоков. Opt Express. 2016;24(8):8302–9.
<https://doi.org/10.1364/OE.24.008302>

12. Mo X-F, Zhu B, Han Z-F, Gui Y-Z, Guo G-C. Система Фарадея–Михельсона для квантовой криптографии. Opt Lett. 2005;30(19):2632–4.
<https://doi.org/10.1364/OL.30.002632>

Zhang C-H, Zhou X-Y, Ding H-J, Zhang C-M, Guo G-C, Wang Q. Демонстрация доказательства принципа пассивных ложных квантовых цифровых подписей на расстоянии более 200 км.

Енлик Ериковна Бегимбаева – PhD, Ассоциированный профессор, Satbayev University; Energo Univercity; Алматы; e-mail: enlik_89@mail.ru;

Жаксалыков Темирлан Мирамбекович – докторант 1-го курса Satbayev University; Казахстанско-Британский Технический Университет, сениор лектор 050000, Алматы; e-mail: zhaxalykov8@gmail.com

Амир Ахтанов – Казахстанско-Британский Технический Университет, студент

Руслан Пашкевич – Казахстанско-Британский Технический Университет, студент

Ольга Александровна Усатова – PhD, Ассоциированный профессор, Satbayev University; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Казахстан

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ

А.М. Самуйлова

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

УДК 004.891.53

***Аннотация.** В статье рассматривается методология прогнозирования угроз и уязвимостей в сфере информационной безопасности, используя данные, полученные из специализированных Интернет-ресурсов, таких как форумы и интернет-площадки. На сегодняшний день в сети Интернет существует множество специализированных информационных ресурсов, где пользователи активно обсуждают вопросы информационной безопасности, методы несанкционированного доступа к защищенным данным и другие аспекты этой области. На таких форумах зарегистрированы как пользователи, заинтересованные в защите компьютерной информации, так и те, кто изучает методы атак на информационные системы. Указанные форумы могут рассматриваться источниками информации о новом вредоносном программном обеспечении, уязвимостях и компьютерных атаках. Для прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности используются такие методы, как статистическое исследование сообщений на форумах, применение методов нечеткого логического вывода, семантический анализ, использование онтологий. Комбинирование использование данных методов способствует повышению эффективности методов и средств выявления угроз и уязвимостей информационной безопасности на основе разработки алгоритмов и информационно-аналитической системы для анализа потока текстовых сообщений тематических Интернет-ресурсов.*

***Ключевые слова:** угрозы информационной безопасности, тематические Интернет-ресурсы, форумы, семантический анализ, статистический анализ, онтология, нечеткий логический вывод.*

Введение

В настоящее время основными источниками знаний об угрозах и уязвимостях безопасности информации являются специализированные базы данных, создаваемые при участии исследовательских центров и государственных структур. Тем не менее, перечни угроз и уязвимостей, содержащиеся в таких базах данных, не всегда охватывают все существующие аспекты. Поэтому многие исследователи в области информационной безопасности прибегают к использованию тематических интернет –ресурсов, таких как форумы и интернет-площадки, в качестве дополнительного источника информации об угрозах и уязвимостях.

На сегодняшний день в сети Интернет существует множество специализированных информационных ресурсов, где пользователи активно обсуждают вопросы информационной безопасности, методы несанкционированного доступа к защищенным данным и другие аспекты этой области. На таких форумах зарегистрированы как пользователи, заинтересованные в защите компьютерной информации, так и те, кто изучает методы атак на информационные системы. Указанные форумы могут рассматриваться источниками информации о новом вредоносном программном обеспечении, уязвимостях и компьютерных атаках. Среди пользователей таких тематических интернет–ресурсов присутствуют как потенциальные нарушители, так и участники, обладающие сведениями

об угрозах и уязвимостях информационной безопасности. Они обмениваются имеющимися у них знаниями с использованием форумов и интернет–площадок. Перечисленные факторы позволяют прогнозировать угрозы и уязвимости в области информационной безопасности на основе анализа данных тематических интернет–ресурсов, используя закономерности, которые характерны для процесса обсуждения угроз и уязвимостей.

Для каждого сообщения интернет–форума доступна такая информация, как время создания сообщения, автор и его рейтинг, принадлежность к определенному форуму и теме форума, количество сообщений в теме форума [1]. Эта структура сообщений позволяет проводить как семантический, так и статистический анализ. Проведение семантического анализа позволяет отфильтровать сообщения, не относящиеся к предметной области информационной безопасности. В результате этого анализа исключаются сообщения, не содержащие информации о потенциальных угрозах и уязвимостях информационной безопасности.

На сегодняшний день в качестве одного из эффективных подходов описания предметных областей применяется онтология, при использовании которой нужная предметная область подлжит описанию в виде организованной совокупности понятий с учетом существующих между ними связей и их свойств. При применении онтологических методов происходит анализ текстовых данных с целью определения их соответствия терминам и концепциям, заданным в онтологии.

Для прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности используются данные, полученные из анализа деятельности пользователей на специализированных интернет –ресурсах. Этот анализ включает в себя статистическое исследование сообщений на форумах и применение методов нечеткого логического вывода. Последние позволяют отслеживать закономерность, присущую тематическим интернет–ресурсам и заключающуюся в том, что при появлении угрозы или уязвимости, участник форума создает новую тему и оставляет сообщение, которое потом опровергается или поддерживается другими участниками. На основе важности обсуждаемой информации задается внутренний рейтинг авторов сообщений форума. Закономерность так же наблюдается в увеличении частоты появления сообщений при высокой важности обсуждаемой информации [3].

1. Постановка задачи

Основной задачей данного исследования является анализ методов для прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности на основе анализа данных тематических интернет-ресурсов. В рамках данной задачи необходимо решить следующие подзадачи:

1. Анализ алгоритмов прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности на основе анализа данных тематических Интернет-ресурсов.
2. Применение указанных алгоритмов.
3. Анализ результатов.
4. Заключение и выводы.

Данная работа направлена на создание комплексного подхода к прогнозированию угроз и уязвимостей информационной безопасности на основе анализа данных тематических Интернет-ресурсов.

2. Алгоритм прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности на основе анализа данных тематических Интернет-ресурсов

Поток текстовых сообщений – это совокупность сообщений, создаваемых пользователями на интернет-форумах. Для прогнозирования угроз и уязвимостей информационной безопасности, модель должна предусматривать возможность статистического и семантического анализа

сообщений. При этом учитывается их принадлежность к области угроз и уязвимостей, конкретному форуму, автору, его рейтингу и времени создания сообщений.

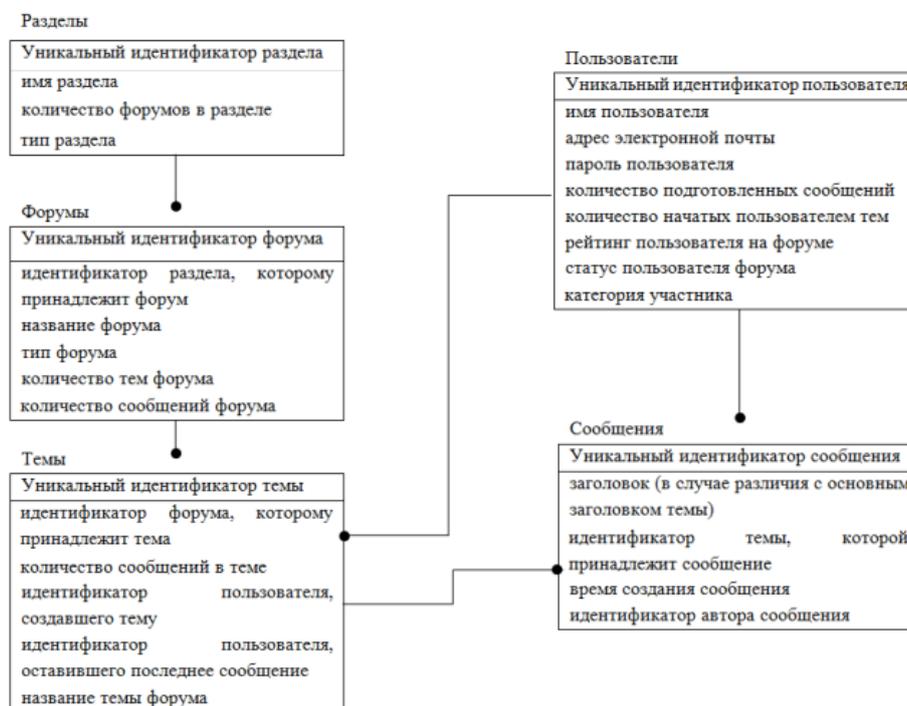


Рис. 1. Логическая модель базы данных тематических интернет– ресурсов

В настоящее время онтология является наиболее эффективным средством для описания конкретной предметной области. Онтологический подход заключается в представлении предметной области в виде организованной совокупности понятий, учитывая существующие между ними связи и их свойства. В общем виде модель потока текстовых сообщений, относящихся к предметной области, заданной онтологией, будет представлена тройкой:

$$St = (M, O, T) \quad (1)$$

где St – поток текстовых сообщений в текущий момент времени t ; M – множество сообщений в потоке; O – онтология предметной области; $T = \{1, \dots, \tau\}$ – множество периодов времени, в которые велось наблюдение за потоком сообщений (часов, дней, месяцев и т.д.) [2].

$$O = (E, R, F) \quad (2)$$

где E – множество терминов предметной области; R – множество отношений между терминами предметной области; F – множество заданных на терминах и отношениях онтологии функций интерпретации (аксиоматизации).

Для осуществления семантической фильтрации сообщений, относящихся к предметной области угроз и уязвимостей информационной безопасности может применяться тезаурусный критерий оценки степени близости сообщения к терминам проблемной области. Степень близости опорного объекта онтологии к поступающему сообщению рассчитывается по формуле:

$$k_t = \max_{i=1}^m \left(\frac{n_i}{p_i} \right) \quad (3)$$

где m – общее количество объектов онтологии; n_i – количество слов в лемме сообщения, присутствующих в лемме i -го объекта онтологии; p_i – количество слов в лемме i -го объекта онтологии. В случае, когда одинаковое значение коэффициента k_t получено для нескольких различных объектов онтологии, опорным считается объект, величина n_i – которого принимает максимальное значение. Если существует несколько объектов, для которых значения k_t и n_i – одинаковы, то все они считаются опорными. Для каждого из них проводится дальнейший анализ по онтологическому критерию. В используемой структуре онтологии каждый её объект обладает свойством «является Термином». Оно определяется экспертным путем, принимая логический тип значения, в зависимости от того, насколько объект характерен для рассматриваемой предметной области. Основное прикладное применение указанное свойство находит при решении задач извлечения терминов с использованием тезаурусного критерия терминологичности. В соответствии с тезаурусным критерием степень близости сообщения терминам конкретной предметной области рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{Ont} = \frac{k_t}{c+1} \quad (4)$$

где k_t – коэффициент, рассчитанный по формуле 6 на первом этапе анализа, c – число отношений, связывающих опорный объект онтологии с объектами, у которых значение свойства «является Термином» истинное. Если опорный объект онтологии является термином предметной области, то $c = 0$ [5].

Эмпирические знания, касающиеся описанных ранее закономерностей изменения частоты возникновения сообщений тематических интернет-ресурсов и рейтинга их авторов, в зависимости от значимости обсуждаемой информации, можно представить в виде набора эвристических правил, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Эвристические правила функционирования тематических интернет-ресурсов

1	Если частота появления сообщений на форуме очень высокая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности очень высокая.
2	Если частота появления сообщений на форуме высокая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности высокая.
3	Если частота появления сообщений на форуме выше средней и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности выше средней.
4	Если частота появления сообщений на форуме средняя и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности средняя.

5	Если частота появления сообщений на форуме ниже средней и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности ниже средней.
6	Если частота появления сообщений на форуме низкая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности низкая.
7	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга авторов высокий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности очень низкая.
8	Если частота появления сообщений на форуме очень высокая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности высокая.
9	Если частота появления сообщений на форуме высокая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности выше средней.
10	Если частота появления сообщений на форуме выше средней и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности средняя.
11	Если частота появления сообщений на форуме средняя и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности ниже средней.
12	Если частота появления сообщений на форуме ниже средней и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности низкая.
13	Если частота появления сообщений на форуме низкая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности очень низкая.
14	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга авторов средний, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности минимальная.
15	Если частота появления сообщений на форуме очень низкая и уровень рейтинга авторов низкий, значит вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности очень низкая.

На основании перечисленных правил становится возможным создание базы правил для системы нечеткого вывода. В данной системе одна из входных лингвистических переменных будет обозначена как β_1 – «частота появления сообщений», а вторая – как β_2 – «уровень рейтинга авторов». Выходной лингвистической переменной будет β_3 – «вероятность возникновения угрозы или уязвимости информационной безопасности». Таким образом, создается система нечеткого логического вывода, учитывающая данные

переменные [4]. В этом случае создаваемая система нечеткого логического вывода содержит 15 правил нечетких продукций, представленных в таблице 2.

Таблица 2. Правила нечетких продукций

Правило_1	ЕСЛИ «β1 есть ОВ» И «β2 есть В» ТО «β3 есть ОВ»
Правило_2	ЕСЛИ «β1 есть В» И «β2 есть В» ТО «β3 есть В»
...	
Правило_15	ЕСЛИ «β1 есть ОН» И «β2 есть Н» ТО «β3 есть ОН»

3. Применение указанных методов

В исследовании использовался набор данных Hacker News Comments with High User Engagement [7]. В коде реализован процесс анализа потока текстовых сообщений с использованием онтологического подхода к предметной области кибербезопасности. Онтология включает в себя множество терминов (например, "уязвимость", "вирус"), отношения между ними (например, "является", "связан с") и функции интерпретации (аксиомы). Код включает предобработку текста сообщений, создание TF-IDF векторов для анализа и вычисление косинусной близости между сообщениями и терминами онтологии. Результаты фильтруются на основе заданного порога косинусной близости и сохраняются для дальнейшего анализа. Этот подход позволяет эффективно выявлять и анализировать тексты, связанные с кибербезопасностью, используя структурированную онтологию предметной области.

```
# Пример тезауруса для предметной области кибербезопасности
thesaurus = [
    "cybersecurity", "threat", "vulnerability", "malware", "phishing",
    "ransomware", "attack", "defense", "firewall", "antivirus",
    "data breach", "security policy", "risk assessment", "incident response",
    "encryption", "decryption", "spyware", "adware", "botnet", "exploit",
    "zero-day", "patch management", "DDoS", "intrusion detection",
    "penetration testing", "ethical hacking", "cyber espionage", "cyber warfare",
    "identity theft", "social engineering", "backdoor", "rootkit", "keylogger",
    "honeypot", "cyber hygiene", "security awareness", "multi-factor authentication",
    "password management", "data loss prevention", "security information and event management",
    "security operations center", "network security", "application security",
    "cloud security", "mobile security", "endpoint security", "threat intelligence",
    "incident management", "digital forensics", "privacy protection",
    "compliance", "regulation", "GDPR", "HIPAA", "PCI DSS", "SOX",
    "NIST", "ISO 27001", "security architecture", "security framework",
    "security controls", "threat modeling", "vulnerability assessment",
    "security testing", "access control", "privileged access management",
    "least privilege", "network segmentation", "virtual private network",
    "SSL/TLS", "cryptography", "public key infrastructure", "certificate authority",
    "security audit", "security governance", "cyber insurance", "business continuity",
    "disaster recovery", "incident response plan", "security training",
    "phishing simulation", "risk management", "third-party risk management"
]
```

Рис. 2. Пример тезауруса для предметной области кибербезопасности

```

# Создание TF-IDF векторов для сообщений и тезауруса
vectorizer = TfidfVectorizer()
tfidf_matrix = vectorizer.fit_transform(df['processed_message'])
thesaurus_matrix = vectorizer.transform(thesaurus_processed)

# Вычисление косинусной близости
cosine_similarities = cosine_similarity(tfidf_matrix, thesaurus_matrix)
max_similarities = cosine_similarities.max(axis=1)

# Определение порога для фильтрации (например, 0.1)
threshold = 0.1
df['relevance'] = max_similarities
filtered_df = df[df['relevance'] > threshold]

# Сохранение отфильтрованных данных в новый датафрейм и CSV файл
output_file = 'filtered_data.csv'
filtered_df.to_csv(output_file, index=False)

```

Рис. 3. Оценка степени близости сообщения к терминам проблемной области

Оценка степени близости сообщения к терминам проблемной области производилась путем вычисления косинусной близости между векторами терминами тезауруса и сообщений из набора данных.

```

# Добавление функций принадлежности для comment_ranking
comment_ranking['low'] = fuzz.trimf(comment_ranking.universe, [0, 0, 35])
comment_ranking['average'] = fuzz.trimf(comment_ranking.universe, [25, 35, 45])
comment_ranking['high'] = fuzz.trimf(comment_ranking.universe, [40, 55, 70])

# Добавление функций принадлежности для author_comments
author_comments['low'] = fuzz.trimf(author_comments.universe, [11, 11, 2500])
author_comments['average'] = fuzz.trimf(author_comments.universe, [1500, 2500, 3500])
author_comments['high'] = fuzz.trimf(author_comments.universe, [3000, 4000, 4984])

# Добавление функций принадлежности для story_comments
story_comments['low'] = fuzz.trimf(story_comments.universe, [11, 11, 600])
story_comments['average'] = fuzz.trimf(story_comments.universe, [400, 600, 800])
story_comments['high'] = fuzz.trimf(story_comments.universe, [700, 900, 1216])

```

Рис. 4. Создание функций принадлежности

```

# Правила нечеткого вывода на основе эвристических правил
rule1 = ctrl.Rule(comment_ranking['high'] & author_comments['high'], threat_probability['very_high'])
rule2 = ctrl.Rule(comment_ranking['average'] & author_comments['high'], threat_probability['high'])
rule3 = ctrl.Rule(comment_ranking['low'] & author_comments['high'], threat_probability['average'])
rule4 = ctrl.Rule(comment_ranking['average'] & author_comments['average'], threat_probability['average'])
rule5 = ctrl.Rule(comment_ranking['high'] & author_comments['average'], threat_probability['low'])
rule6 = ctrl.Rule(comment_ranking['low'] & author_comments['average'], threat_probability['very_low'])
rule7 = ctrl.Rule(comment_ranking['high'] & author_comments['low'], threat_probability['high'])
rule8 = ctrl.Rule(comment_ranking['average'] & author_comments['low'], threat_probability['average'])
rule9 = ctrl.Rule(comment_ranking['low'] & author_comments['low'], threat_probability['very_low'])
rule10 = ctrl.Rule(story_comments['high'] & author_comments['high'], threat_probability['high'])
rule11 = ctrl.Rule(story_comments['average'] & author_comments['high'], threat_probability['average'])
rule12 = ctrl.Rule(story_comments['low'] & author_comments['high'], threat_probability['very_low'])
rule13 = ctrl.Rule(story_comments['average'] & author_comments['average'], threat_probability['average'])
rule14 = ctrl.Rule(story_comments['low'] & author_comments['average'], threat_probability['low'])
rule15 = ctrl.Rule(story_comments['low'] & author_comments['average'], threat_probability['very_low'])
rule16 = ctrl.Rule(story_comments['low'] & author_comments['low'], threat_probability['very_low'])

```

Рис. 5. Создание правил нечеткого вывода

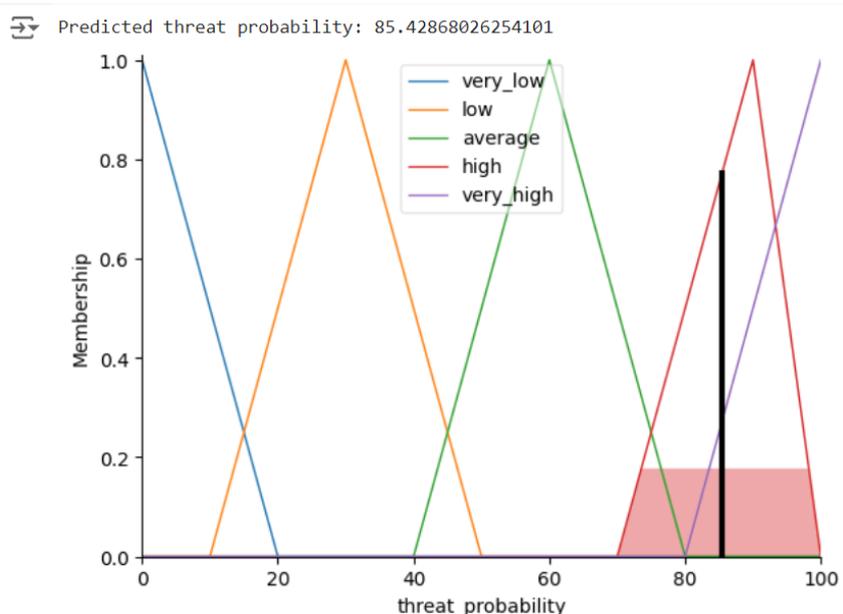


Рис. 6. Результат предсказания угрозы

4. Заключение

В данной статье была рассмотрена методология прогнозирования угроз и уязвимостей в сфере информационной безопасности на основе анализа данных тематических Интернет-ресурсов. В ходе исследования был разработан подход, включающий комбинирование статистических методов анализа текстовых сообщений, семантического анализа и использования онтологий. Эти методы позволяют эффективно извлекать релевантную информацию из сообщений на специализированных форумах и интернет-площадках, что является важным шагом в прогнозировании новых угроз и уязвимостей. Основные результаты исследования включают разработку алгоритмов семантического и статистического анализа данных. Использование TF-IDF векторизации и вычисление косинусной близости между сообщениями и терминами тезауруса позволили отфильтровать нерелевантные сообщения и сконцентрироваться на тех, которые содержат информацию об угрозах и уязвимостях. Создание онтологии предметной области позволило структурировать знания о кибербезопасности в виде организованной совокупности понятий и связей между ними. Это способствовало более точному определению релевантности сообщений. Разработка моделей нечеткого логического вывода на основе эмпирических правил дала возможность учитывать частоту появления сообщений и уровень рейтинга авторов для прогнозирования вероятности возникновения угроз и уязвимостей информационной безопасности. Эмпирическое исследование и оценка эффективности предложенного подхода с использованием данных из набора Hacker News Comments with High User Engagement продемонстрировало применимость и эффективность предложенных методов в реальных условиях. Полученные результаты могут быть использованы для разработки информационно-аналитических систем, которые помогут специалистам в области информационной безопасности своевременно выявлять и реагировать на новые угрозы и уязвимости, что, в свою очередь, повысит уровень защиты информационных систем. В будущем планируется расширение базы данных исследуемых форумов и интернет-площадок, а также совершенствование методов семантического анализа и нечеткого логического вывода для повышения точности прогнозирования. Кроме того, рассматривается возможность интеграции дополнительных источников данных и

использования методов машинного обучения для автоматизации и улучшения процесса анализа.

Список литературы

1. Смагин А.А., Полетаев В.С. Модель потока текстовых сообщений тематических интернет-форумов // Вестник НГИЭИ. 2017. № 10 (77). С. 16–24.
2. Башаев В.А., Мошкин В.С., Андреев И.А., Клейн В.В. Использование семантической метрики для решения задачи извлечения терминологии из текста проблемной области - Ульяновск: УлГТУ, 2014. – с. 72–78.
3. Сергеев, Д. О., Полищук, А. М. "Разработка и анализ методов прогнозирования угроз информационной безопасности." В сборнике: Актуальные проблемы информационной безопасности. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017.
4. Симанчук, В. В., Гарапко, Г. А., Кривцун, В. Н. "Анализ и прогнозирование угроз информационной безопасности на основе статистических методов." В сборнике: Методы и средства обеспечения информационной безопасности. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.
5. Maria Teresa Paziienza¹, Marco Pennacchiotti¹, and Fabio Massimo Zanzotto Terminology extraction an analysis of linguistic and statistical approaches // Proceedings of the NEMIS 2004 Final Conference, pp. 255–279.
6. Сергеев, Д. О., Полищук, А. М. "Разработка и анализ методов прогнозирования угроз информационной безопасности." В сборнике: Актуальные проблемы информационной безопасности. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017.
7. <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/hacker-news-comments-with-high-user-engagement-1>

*Самуйлова Анастасия Маратовна – Магистрант 1 курса
Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби;
Алматы; e-mail: stacya.samuilova@mail.ru*

КОНЦЕПЦИЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ РИСКА С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

О.А. Усатова¹, Ш.Н. Макиленов², Е.Е. Бегимбаева¹

¹Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК,

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби

УДК 004.056.55

Аннотация. В статье представлена концепция аутентификации на основе риска с применением блокчейн-технологий для защиты медицинских данных. Рассматриваются методы двухэтапной аутентификации и различные уровни доступа к медицинской информации. Основное внимание уделяется расчету риска для различных ролей и видов аутентификации, а также вычислению коэффициента верификации, необходимого для выполнения определенных действий в системе. Представленный алгоритм включает использование блокчейн для хранения таблиц распределения уровней доступа и коэффициентов верификации, что гарантирует их неизменность и защищенность. Применение предложенной концепции обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности медицинских информационных систем.

Ключевые слова: аутентификация, блокчейн, медицинские данные, двухэтапная аутентификация, управление рисками, уровни доступа.

Введение

В последние годы защита медицинских данных стала одной из самых актуальных задач в области информационной безопасности [1]. Учитывая высокую ценность и чувствительность этих данных, требуется разработка надёжных методов их защиты [2]. Одним из таких методов является аутентификация на основе риска (RBA), которая адаптирует процесс аутентификации в зависимости от текущего уровня риска. В данной статье рассматривается концепция двухэтапной аутентификации на основе риска с применением блокчейн-технологий для защиты медицинских данных.

Аутентификация на основе риска является мощным инструментом для повышения безопасности в сфере здравоохранения, где защита конфиденциальных данных пациентов имеет первостепенное значение. В статье [3] исследуется метод определения рисков аутентификации с использованием времени обмена токенами OpenID Connect, что демонстрирует возможность анализа временных метрик для выявления аномальных попыток аутентификации. Аналогичным образом, в статье [4] рассматривается эффективность RBA в реальных условиях, подчёркивая, что сложные модели RBA превосходят простые подходы в плане безопасности и удобства использования. Эти исследования подтверждают, что комплексный подход к оценке риска, включающий множество факторов, является более надёжным и эффективным.

Блокчейн-технологии могут значительно усилить RBA, обеспечивая неизменность и защиту данных, хранимых в системе. Статья [5] обсуждает методы защиты от угроз идентификации с использованием RBA, подчёркивая важность анализа риска для повышения устойчивости систем аутентификации к атакам. В сочетании с блокчейн, такие системы могут гарантировать целостность и подлинность данных, что особенно важно в медицинской сфере, где даже небольшие изменения данных могут иметь серьёзные последствия.

Реализация RBA на практике рассмотрена в статье [6], где представлена полностью функциональная реализация RBA для платформы OpenStack. Это исследование показывает, как можно адаптировать RBA для различных платформ, что важно для интеграции этой технологии в существующие медицинские информационные системы. В многосерверных средах, таких как распределённые медицинские системы, архитектура, предложенная в статье [7], позволяет эффективно реализовать RBA, учитывая разнообразные параметры для оценки риска.

Многофакторная аутентификация, комбинируемая с RBA, представляет собой ещё один важный аспект повышения безопасности. Статья [8] анализирует, как различные методы аутентификации могут быть объединены для повышения уровня безопасности. Введение дополнительных факторов аутентификации, таких как биометрия и одноразовые коды (OTP), в комбинации с RBA позволяет создавать более гибкие и надёжные системы защиты данных.

Применение RBA с блокчейн-технологиями в сфере здравоохранения позволяет не только повысить уровень безопасности медицинских данных, но и улучшить управляемость доступом к этим данным. Использование блокчейна для хранения статичных данных, таких как идентификационные номера сотрудников, их имена и должности, гарантирует неизменность этой информации и защиту от несанкционированного доступа [9]. В то же время, динамичные данные, такие как пароли и одноразовые коды, могут обрабатываться с учётом текущего уровня риска, обеспечивая дополнительный уровень защиты.

Таким образом, совмещение аутентификации на основе риска с блокчейн-технологиями представляет собой перспективное направление для защиты медицинских данных, обеспечивая высокий уровень безопасности и надёжности в медицинских информационных системах.

1. Постановка задачи

Основной целью данной исследовательской работы является разработка концепции аутентификации на основе риска с применением блокчейн-технологий для защиты медицинских данных. В современных медицинских информационных системах безопасность данных играет ключевую роль, поскольку несанкционированный доступ или изменение данных могут иметь серьёзные последствия для пациентов. В этом контексте необходимо создать систему аутентификации, которая сможет эффективно противостоять потенциальным угрозам и обеспечивать высокий уровень защиты.

Для достижения этой цели требуется решить несколько взаимосвязанных задач. Прежде всего, необходимо определить этапы аутентификации и установить различные уровни доступа к медицинским данным. Это позволит структурировать процесс получения доступа и сделать его более управляемым. Следующим шагом является расчет риска для различных действий в медицинской системе. Для этого потребуется анализировать возможные угрозы и определять вероятность их возникновения в зависимости от контекста и роли пользователя. На основе этих данных будет разработана математическая модель, позволяющая вычислять коэффициент верификации, который потребуется для выполнения конкретных действий в системе.

Кроме того, важным аспектом является разработка алгоритма, который будет управлять процессом аутентификации. Этот алгоритм должен учитывать как статичные, так и динамичные данные пользователя, чтобы обеспечить надёжную проверку подлинности. Блокчейн-технологии будут использоваться для хранения таблиц распределения уровней доступа и коэффициентов верификации, что гарантирует их неизменность и доступность только для авторизованных пользователей.

Таким образом, основная задача данной работы заключается в создании интегрированной системы аутентификации на основе риска, которая сочетает в себе надежность блокчейн-технологий и гибкость многоуровневого подхода к управлению доступом.

2. Алгоритм решения задачи

Алгоритм двухэтапной аутентификации в медицинской системе начинается с ввода пользователем имени пользователя и пароля для доступа к базовому уровню, позволяющему только просмотр медицинских данных. Если пользователь запрашивает более высокий уровень доступа, например, для создания, редактирования или удаления записей, система проверяет его учетные данные и требует второго фактора аутентификации, такого как PIN-код, USB токен, SMS OTP или сканирование QR-кода через смартфон. После успешной проверки второго фактора пользователю предоставляется необходимый доступ, а при неудаче верификации доступ отклоняется. Этот процесс обеспечивает высокий уровень безопасности и доверия к системе, используя блокчейн для хранения и защиты таблиц распределения уровней доступа и коэффициентов верификации.

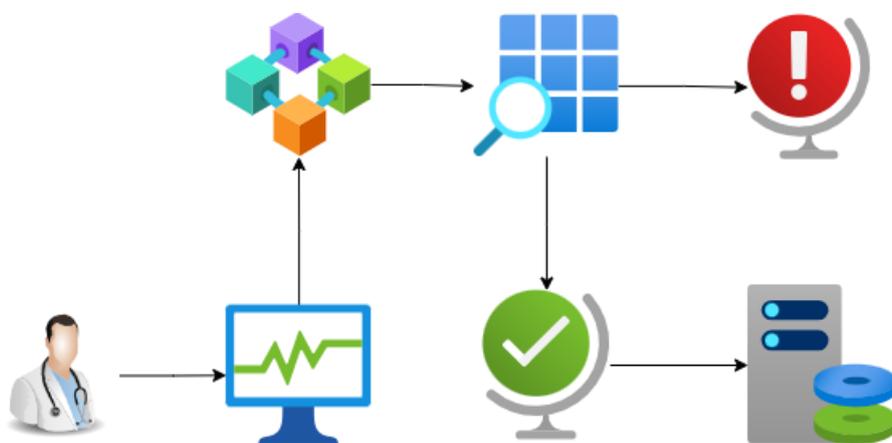


Диаграмма-1. Алгоритм работы аутентификации на основе риска с применением блокчейн

Псевдокод алгоритма работы аутентификации на основе риска с применением блокчейн представлен следующим образом:

- 1: Start
- 2: Display "Enter username and password"
- 3: username \leftarrow get_input()
- 4: password \leftarrow get_input()

- 5: if validate_credentials(username, password) == False then
- 6: Display "Invalid credentials"
- 7: Go to End
- 8: end if

- 9: access_level \leftarrow get_access_level(username)

- 10: if access_level == "View Only" then
- 11: Display "Access granted: View Only"
- 12: Go to End
- 13: end if

```

14: Display "Second factor authentication required for higher access level"
15: Display "Enter second factor authentication (PIN, Token, OTP, QR Code)"
16: second_factor ← get_input()

17: if validate_second_factor(username, second_factor) == False then
18:   Display "Second factor verification failed, access denied"
19:   Go to End
20: end if

21: new_access_level ← get_new_access_level(username, second_factor)

22: if new_access_level == "Create" then
23:   Display "Access granted: Create records"
24: elseif new_access_level == "Edit" then
25:   Display "Access granted: Edit records"
26: elseif new_access_level == "Delete" then
27:   Display "Access granted: Delete records"
28: else
29:   Display "Access denied"
30: end if
31: End

```

В статье предлагается использование таблицы распределения уровней доступа по ролям и их действиям в медицинской системе. Эта таблица является основной и определяет все возможные действия пользователей в медицинской информационной системе.

Таблица-1. Таблица распределения уровней доступа по ролям и их действиям в медицинской системе

Роль	Действия	Коэффициент верификации
Роль_1	Действие_1	X_1
	Действие_2	Y_1
	Действие_3	Z_1
Роль_2	Действие_1	X_2
	Действие_2	Y_2
	Действие_3	Z_2
...

Данная таблица обеспечивает безопасный доступ к медицинской системе путем ограничения действий пользователей. Для того чтобы пользователь мог выполнить определенные действия в системе, ему необходимо набрать соответствующий коэффициент верификации через два этапа аутентификации. Для запрещенных действий пользователей выставляется высокий коэффициент верификации, который невозможно набрать даже при двух этапах аутентификации с самыми высокими коэффициентами.

Каждому виду аутентификации присваивается соответствующий коэффициент, что позволяет гибко настраивать уровень безопасности системы. Если пользователь набирает необходимый коэффициент на первом этапе, то второй этап аутентификации не требуется.

Таблица-2. Таблица присвоения коэффициента верификации по видам аутентификаций для соответствующих ролей

Роль	Вид аутентификации	Коэффициент верификации
Роль_1	Пароль	CV_{pass_1}
	Пин-код	CV_{pin_1}
	Email OTP	$CV_{emailOTP_1}$
	SMS OTP	$CV_{SMS_OTP_1}$
	Сканирование QR через смартфон	CV_{QR_1}
	...	
Роль_2	Пароль	CV_{pass_2}
	Пин-код	CV_{pin_2}
	Email OTP	$CV_{emailOTP_2}$
	SMS OTP	$CV_{SMS_OTP_2}$
	Сканирование QR через смартфон	CV_{QR_2}
	...	
...

Для обеспечения безопасности, таблицы распределения уровней доступа и присвоения коэффициентов верификации должны храниться в блокчейне. Это гарантирует неизменность и доступность данных для всех пользователей системы, при этом исключая возможность их изменения кем-либо, кроме администрации медицинской организации, которые являются узлами блокчейн. Блокчейн-технология обеспечивает высокий уровень защиты данных, гарантируя целостность и доверие к системе аутентификации на основе риска.

Риск (R) выполнения определенного действия в медицинской системе определяется как функция от роли пользователя ($Role$) и вида аутентификации ($AuthType$). Для каждой роли и вида аутентификации задается свой уровень риска.

Обозначим $R(Role_i, AuthType_j)$ как риск для роли $Role_i$ и вида аутентификации $AuthType_j$

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot Role_i \cdot AuthType_j \quad (1)$$

где:

- r_{ij} - коэффициент риска для роли $Role_i$ и вида аутентификации $AuthType_j$,
- m - количество ролей,
- n - количество видов аутентификации.

Коэффициент верификации (CV) должен показать уровень достоверности личности пользователя системы. Он определяется как функция от риска (R), роли ($Role$) и вида аутентификации ($AuthType$).

$$CV = f(R, Role, AuthType) \quad (2)$$

Рассмотрим детально коэффициент верификации для роли $Role_i$ и вида аутентификации $AuthType_j$:

$$CV_{ij} = \frac{1}{1 + e^{-(a \cdot Role_i + b \cdot AuthType_j - R)}} \quad (3)$$

где:

- a и b - коэффициенты, определяющие вес роли и вида аутентификации соответственно,
- R - рассчитанный риск для соответствующей роли и вида аутентификации.

3. Численные расчеты

Для оценки эффективности предложенной системы аутентификации на основе риска и блокчейн-технологий были проведены численные расчеты. Эти расчеты включают определение значений риска для различных ролей и видов аутентификации, а также вычисление коэффициентов верификации для конкретных действий в медицинской информационной системе. Полученные данные были использованы для моделирования работы системы в различных сценариях, что позволило оценить ее надежность и устойчивость к угрозам.

Рассмотрим таблицу весов для ролей и видов аутентификации:

Таблица-3. Веса ролей

Роль	Вес
Менеджер	0.5
Врач	1.0
Администратор	1.5

Таблица-4. Веса видов аутентификации

Роль	Вес
Пароль	0.1
Пин-код	0.3
USB Токен	1.2
SMS OTP	1.3
Email OTP	0.8
Сканирование QR через смартфон	1.9

Рассчитаем коэффициент верификации для врача, использующего SMS OTP:

Рассчитаем риск для роли "Врач" и вида аутентификации "SMS OTP":

$$R = r_{ij} \cdot Role_i \cdot AuthType_j$$

$$R = r_{2,4} \cdot 1.0 \cdot 1.3$$

Предположим, что $r_{2,4} = 0.5$,

$$R = 0.5 \cdot 1.0 \cdot 1.3 = 0.65$$

Рассчитаем коэффициент верификации:

$$CV = \frac{1}{1 + e^{-(a \cdot Role_i + b \cdot AuthType_j - R)}}$$

Пусть $a = 0.7$ и $b = 0.5$,

$$CV = \frac{1}{1 + e^{-(0.7 \cdot 1.0 + 0.5 \cdot 1.3 - 0.65)}}$$

$$CV = \frac{1}{1 + e^{-(0.7+0.65-0.65)}}$$

$$CV = \frac{1}{1 + e^{-(0.7)}}$$

$$CV \approx 0.668 = 0.7$$

Таким образом, согласно таблице-1, пользователь с ролью «Врач» может выполнить действие, не превышающий коэффициент верификации 0,7.

Результаты численных расчетов демонстрируют, что использование системы аутентификации на основе риска с блокчейн-технологиями значительно повышает безопасность медицинских данных. Анализ различных сценариев показал, что система эффективно предотвращает несанкционированный доступ, требуя от пользователей прохождения двухэтапной аутентификации с различными уровнями проверки в зависимости от выполняемых действий. В таблице распределения уровней доступа и коэффициентов верификации, хранящейся в блокчейне, обеспечивается неизменность данных, что исключает возможность их подделки или несанкционированного изменения.

Таким образом, предложенная модель аутентификации обеспечивает высокий уровень защиты и доверия к системе, что особенно важно в контексте медицинской информации.

4. Заключение

В данной статье была предложена концепция аутентификации на основе риска с применением блокчейн-технологий для защиты медицинских данных. Интеграция аутентификации на основе риска с использованием блокчейн-технологий представляет собой мощный инструмент для защиты медицинских данных. Адаптация процессов аутентификации в зависимости от уровня риска значительно повышает безопасность в сфере здравоохранения, где конфиденциальность данных пациентов играет ключевую роль. Использование блокчейн обеспечивает целостность и доступность таблиц распределения уровней доступа и коэффициентов верификации, исключая возможность их несанкционированного изменения. Исследования подтверждают эффективность методов аутентификации на основе риска в повышении устойчивости системы к угрозам аутентификации, что делает этот подход особенно актуальным для медицинских информационных систем.

Кроме того, сочетание многофакторной аутентификации с RBA усиливает меры безопасности, предлагая гибкие и строгие протоколы защиты данных. Внедрение такой системы не только укрепляет безопасность медицинских данных, но и улучшает управление доступом. Таким образом, предложенная модель обеспечивает высокий уровень защиты и внедрения доверия к системам медицинской информации, что крайне важно для обеспечения конфиденциальности пациентов и соблюдения регулирующих норм.

Список литературы

1. OnlineZakon: "Кибербезопасность Медицинских Данных: Реальные Угрозы и Инновационные Решения" (05.11.2023) /Интернет-ресурс: URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=38536156&pos=41;-46#pos=41;-46 (дата обращения: 01.06.2024)

2. Tadviser: "Утечки данных" (15.04.2024) /Интернет-ресурс: URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Утечки_данных (дата обращения: 01.06.2024)
3. Han A. H., Lee D. H. Detecting Risky Authentication Using the OpenID Connect Token Exchange Time //Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 19. – С. 8256.
4. Makowski J. P., Pöhn D. Evaluation of Real-World Risk-Based Authentication at Online Services Revisited: Complexity Wins //Proceedings of the 18th International Conference on Availability, Reliability and Security. – 2023. – С. 1-9.
5. Dasu L. S. et al. Defending Against Identity Threats Using Risk-Based Authentication //Cybernetics and Information Technologies. – 2023. – Т. 23. – №. 2. – С. 105-123.
6. Unsel V. et al. Risk-Based Authentication for OpenStack: A Fully Functional Implementation and Guiding Example //Proceedings of the Thirteenth ACM Conference on Data and Application Security and Privacy. – 2023. – С. 237-243.
7. Pramila R. M., Shukla S. An Architecture for Risk-Based Authentication System in a Multi-Server Environment //2023 IEEE International Conference on Public Key Infrastructure and its Applications (PKIA). – IEEE, 2023. – С. 1-5.
8. Gavazzi A. et al. A Study of {Multi-Factor} and {Risk-Based} Authentication Availability //32nd USENIX Security Symposium (USENIX Security 23). – 2023. – С. 2043-2060.
9. Ussatova O. et al. ENHANCING HEALTHCARE DATA SECURITY: A TWOSTEP AUTHENTICATION SCHEME WITH CLOUD TECHNOLOGY AND BLOCKCHAIN //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Т. 126. – №. 2.

*Ольга Александровна Усатова – PhD, Главный научный секретарь Институт
информационных и вычислительных технологий МНВО РК;
050000, Алматы; e-mail: olgaussatova@gmail.com;*

*Шакирт Нурлубекулы Макиленов – докторант, Казахский национальный университет
имени аль-Фараби;
050000, Алматы; e-mail: shakirt.makilenov@gmail.com*

*Енлик Ериковна Бегимбаева – PhD, Институт информационных и вычислительных
технологий МНВО РК;
050000, Алматы; e-mail: enlik_89@mail.ru*

СЕКЦИЯ 10

Интеллектуалды басқару жүйелері

Интеллектуальные системы управления

Intelligent control systems

AUTO-START SOLUTION WITH NEURAL VIDEO VISION FOR POWERING UP TRAFFIC MANAGEMENT

Madina Mansurova¹, Baurzhan Belgibayev¹, Sanzhar Abdrakhim²,
Zhanel Baigarayeva¹, Assiya Boltaboyeva¹

¹Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University
Almaty, Kazakhstan,

²The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

e-mail: mansurova.madina@gmail.com, bbelgibaev@list.ru, sanzharab@gmail.com

Abstract. The article discusses current R&D on the intellectualization of traffic lights equipped with IP video cameras. It shows the application areas of smart traffic lights and describes the stages of designing and semi-industrial testing of the prototype, the core of which is a Raspberry Pi 4 mini PC. During the design and construction of the hardware and software complex (HSC), features of frame-by-frame methods for webcams and streaming methods for IP video cameras for AI image recognition were identified. To increase vandal, water, and dust resistance and reliability for semi-industrial testing of the prototype, an outdoor IP video camera by HIKVISION in the EXIR Fixed Mini Bullet Network Camera modification was used. Periodic power outages at intersections in Almaty required research and development of a method for automatic start-up of the HSC from the moment of power loss. The proposed BIOS configuration algorithm for the Raspberry Pi 4 mini PC is novel and unique in its OS Raspbian settings as a non-standard version of Debian GNU/Linux. The found solutions and test results demonstrated the reliability of the automatic start-up of the traffic light with neural computer vision. Smart traffic lights with video vision allow adaptive control of traffic lights with AI in street conditions at the Abay/Saina interchange in the metropolis of Almaty.

Keywords: intelligent traffic light, reliability, PyCharm, CV2, BIOS mini PC Raspberry PI

I. INTRODUCTION

Smart or intelligent traffic lights, like other smart technical devices, find wide application in large cities for adaptive control of traffic light phases considering the traffic situation at intersections. The difference between modern smart traffic lights and the first traffic lights is roughly equivalent to the difference between the first automobiles and sixth-generation robotaxis with autopilot. An overview of the evolution of smart traffic lights is provided in works [1], which show that for urban infrastructure, traffic lights are the most budget-friendly and reliable devices for active traffic regulation at intersecting roads. In cases of high traffic levels at the intersection of two highways in large cities, expensive and complex multi-level interchanges are built. Such bridges are rarely constructed in the historic parts of major European cities.

Many authors' works on traffic optimization in metropolises with developed road infrastructure demonstrate the objective necessity of using traffic lights to regulate the intensity of vehicle flow depending on the changing capacity of highways. They also help optimize vehicle movement during congestion in central or business parts of the city [2].

In Almaty, there is a single semi-ring high-speed, signal-free highway, the Saina-Al-Farabi-East Ring Road. Its construction required the building of a complex of two-level interchanges on heavily loaded city highways on Nazarbayev, Seifullin, Zharokov, Rozybakiev, Zhandosov, Shalyapin, Abay, Tole Bi, and Raimbek streets. Overall, more than 100 billion tenge were spent on the construction of these interchanges by the Almaty city administration. The construction of similarly designed interchanges at Saina-Zharokov, Saina-Shalyapin, and Saina-Abay alone cost 13.4 billion tenge, with a capacity of 220,000 vehicles per day. Meanwhile, the construction of the

Big Almaty Ring Road (BARR) and the extension of Abay Avenue to BARR led to an increase in traffic from west to east along Abay to 80,000 vehicles per day. It is worth noting that historically, Abay Avenue was the city's first highway with 4-lane traffic in the westward direction. Figure 1 shows how Abay Avenue is integrated into the landscape and street structure of Almaty.

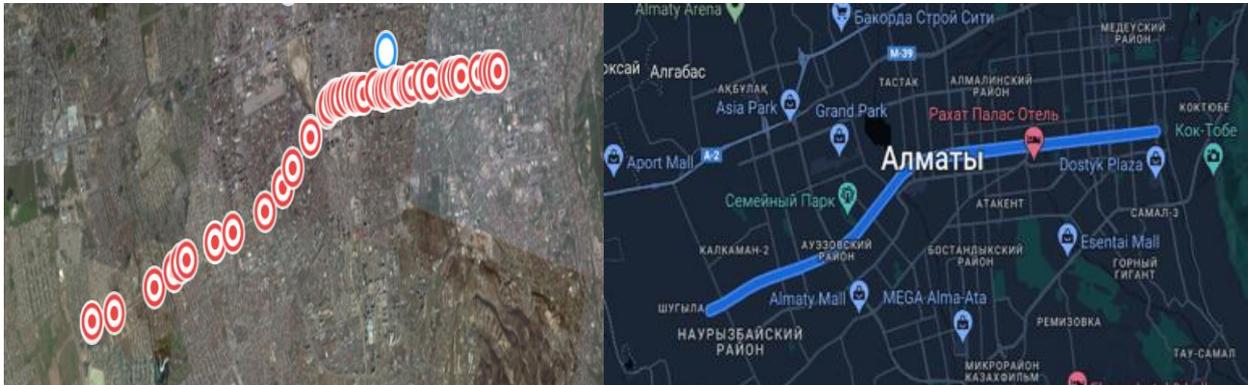


Fig. 1. Abay Avenue and its location with street structure

Around this highway, large residential areas, known as the city's "bedroom" districts, were built by Soviet Kazakhstan in the mid to late 20th century. During the post-Soviet period, this highway was equipped with a centralized traffic management system (CTMS) featuring an analog video surveillance and traffic light control system. The city administration continually expands and modernizes the CTMS, and it can be stated that the current CTMS is a hybrid with a heterogeneous digital component. Part of the video surveillance systems convert video streams from digital to analog formats. The state of the CTMS is outdated and physically worn, requiring a complete overhaul.

Currently, from Abay West to Abay East, covering a distance of 18.8 km, there are 23 traffic light installations with numerous surveillance and video control cameras, not counting pedestrian traffic lights. Abay Avenue can be classified as the most traffic-light-heavy highway in modern Kazakhstan. The travel time from Abay West to Abay East ranges from 50 minutes to 1 hour under average traffic conditions, and during peak hours, this can increase to 1.5 to 2 hours. For comparison, in central London, the average vehicle speed is 12 km/h.

Therefore, studying and upgrading the digital traffic light systems on Abay Avenue is a relevant and important task for the urban transport infrastructure of the metropolis of Almaty.

II. LITERATURE REVIEW

One of the classic and fundamental computer vision tasks is object detection, which aims to locate objects in images and videos. To be more specific, object detection seeks to classify each object and generate bounding boxes from an input image. Two-stage strategies, which handle district proposition and order independently, have been proposed to manage both limitation and arrangement. Mask R-CNN [3], for instance, suggests bounding boxes by utilizing the Region Proposal Network (RPN) and an additional regressor. Additionally, it classifies the objects contained within the proposals. Then again, one-stage indicators like YOLO[4], SSD [5], and RetinaNet [6] handle two errands all the while through a solitary model, making them a lot less complex and quicker than other two-stage identifiers.

Multi-target single-camera (MTSC) Following, otherwise called multi-object following (Saying), plans to appraise articles' directions across the edges in every video. The greater part of the techniques follow the following by-identification worldview, what isolates Adage into two separate undertakings. It begins by independently detecting objects for each frame. Then, at that point, the distinguished occasions of a similar character are connected to make a solitary direction.

The majority of approaches in this paradigm primarily target association issues. For instance, [7] used the Hungarian algorithm [8] to match the bipartite graph created by the similarity scores and presented Spatial-Temporal Relation Networks to estimate the similarity scores between existing trajectories and objects in the frame. All the more as of late, in [9] had recommended a solitary stage multi-object tracker named Tracktor. It takes advantage of a jumping box regressor of Quicker RCNN [10] to find bouncing boxes of articles in the ongoing edge from their bouncing boxes in the past casing. Different techniques like Retina-Track [11], JDE [12], and FairMOT [13] are additionally as of late proposed single-stage trackers, which identify items and concentrate their appearance highlights immediately. Using the extracted features and additional spatial-temporal information, such as distance and intersection over union (IoU), they have used a variety of detectors and association algorithms to connect the detected objects.

The majority of approaches to MTMC tracking make use of the following pipeline to solve the problem: first, they generate the trajectories of detected objects for each camera, and then they connect those trajectories across multiple cameras to infer complete trajectories. For instance, in [14] authors have proposed the MTMC following strategy that utilizes versatile weighted trio misfortune to prepare a component extraction organization and connection bunching to match the directions. In a similar fashion, in [15] authors used the Restricted Non-negative Matrix Factorization algorithm to solve the tracklet-to-target assignment problem, which was changed from the trajectory matching problem. For MTMC following on vehicles, the CityFlow dataset [16] has given a significant benchmark from city-scale traffic cameras. Worked with by open datasets and challenges, in [17] furthermore, [18] have shown improvements to follow every vehicle on multicamera.

III. MATERIALS AND METHODS

In automation theory, traffic lights are typical discrete multi-position regulators widely used in critical technological processes for sorting in transportation, communication, aviation, logistics, the food industry, etc. When considering the light-technical part of a traffic light, it is an electrical device with three, two, or one indicator lamps, operated by a special analog or digital controller. The lamps can be red, yellow, green, or moonlight. The algorithm for turning on the traffic light lamps is called the traffic light cycle program. Analog traffic light systems have been thoroughly studied in transportation science, while adaptive and digital traffic lights with neural computer vision are a new, innovative, and practically valuable direction in transportation digitalization.

Let's consider digital traffic lights paired with a controlling mini-PC running Linux OS, with RAM and a modern video card. In practice, industrial traffic controllers like DK-2 [19] are paired with microcontrollers with RAM up to 100MB and Modbus network protocols. Therefore, creating a wireless semi-industrial digital reliable traffic light with computer vision based on AI is a relevant task presented in this R&D project [20].

The initial components chosen for the R&D project were: industrial control mini-PCs, a web camera, an IP camera, a set of electromechanical relays DC/DC 5V24V 10A, and an industrial three-section traffic light. Figure 2 shows these components with their practical implementation parameters in the R&D project.

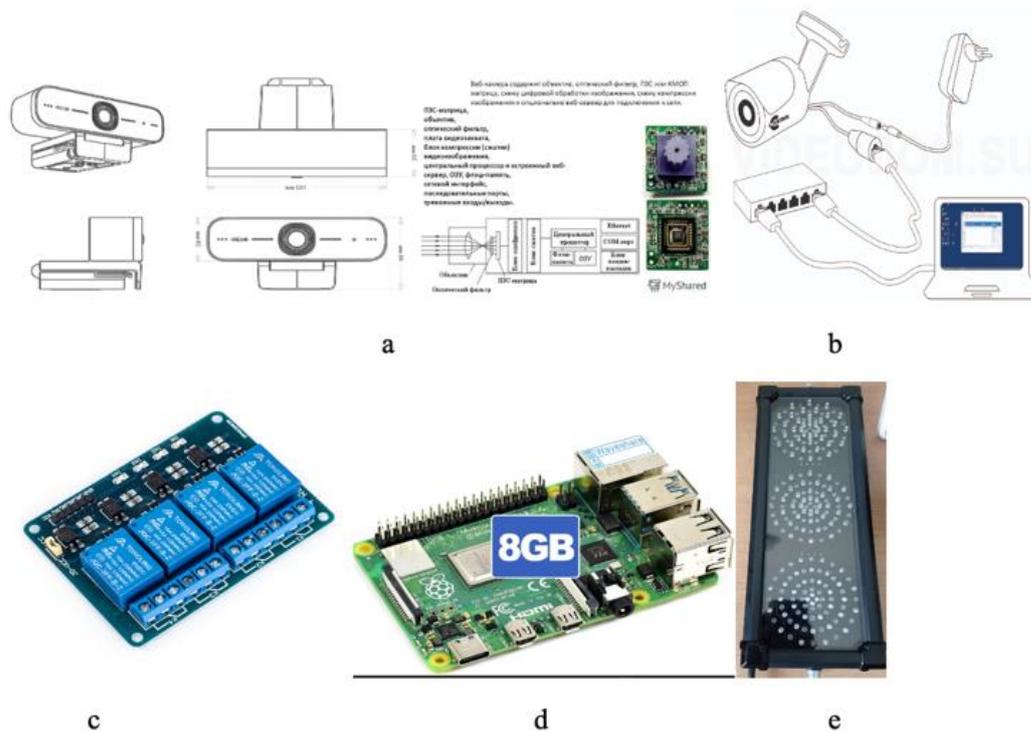


Fig. 2. Industrial components for the assembly of a semi-industrial prototype of a digital traffic light with neural computer vision, where a)Logitech C922 Pro Webcam b) HIKVISION D8-2CD2043G-2 IP camera c)Switching relay DC/DC 5B/24V 10 A d)Raspberry Pi 4 /RAM 8Gb/1.2GHz e)Industrial LED three-section Traffic light IS-T8.3/24/3

As shown in Figure 2, the sensor is a webcam or IP camera, the actuator is the IS-T8.3/24/3 traffic light, and the traffic controller is a Raspberry Pi 4 mini-PC. The task of creating a digital automated system with AI is complicated by the type of sensor in the form of video cameras, which require AI technology for processing the raw data. For video analysis, a special compact control mini-PC with 8GB RAM/1.2 GHz and a microcontroller library GPIO (pins controlled by the PC's physical 5V connectors) is necessary, along with the capability to work with computer neural network image recognition algorithms for video streams. The approach presented in this development is innovative and has significant practical importance for the accelerated digitalization of traffic light systems on Abay Avenue. The developed software products are protected by copyright certificates from the Republic of Kazakhstan [21].

Let's consider the circuit solutions for further mounting of the above-mentioned smart traffic light components on the mounting board. Figure 3 shows part of the circuit for connecting the Raspberry Pi 4 to the relay module and the indicator lamps of the traffic light's cycle program. The connection of the traffic light as an executive device is performed in a standard way through a relay transition. For example, the IS-T8.3/24/3 traffic light panel operates from a 24-volt power supply, with three wires responsible for the "+" of the red, yellow, and green lights connected to the NO terminals, and the "-" wire connected to the "-" of the power supply. At the same time, the "+" of the power supply is connected to the central "Common" terminals of the relay module. In the case of connecting a 220-volt AC traffic light panel, the common black wire of the panel is connected to "N," and the red wires of the panel are connected to the NO terminals corresponding to the light relay of the panel, with the L1 phase of the power supply connected to the "Common" terminal. These tasks are standard and described in technical literature.

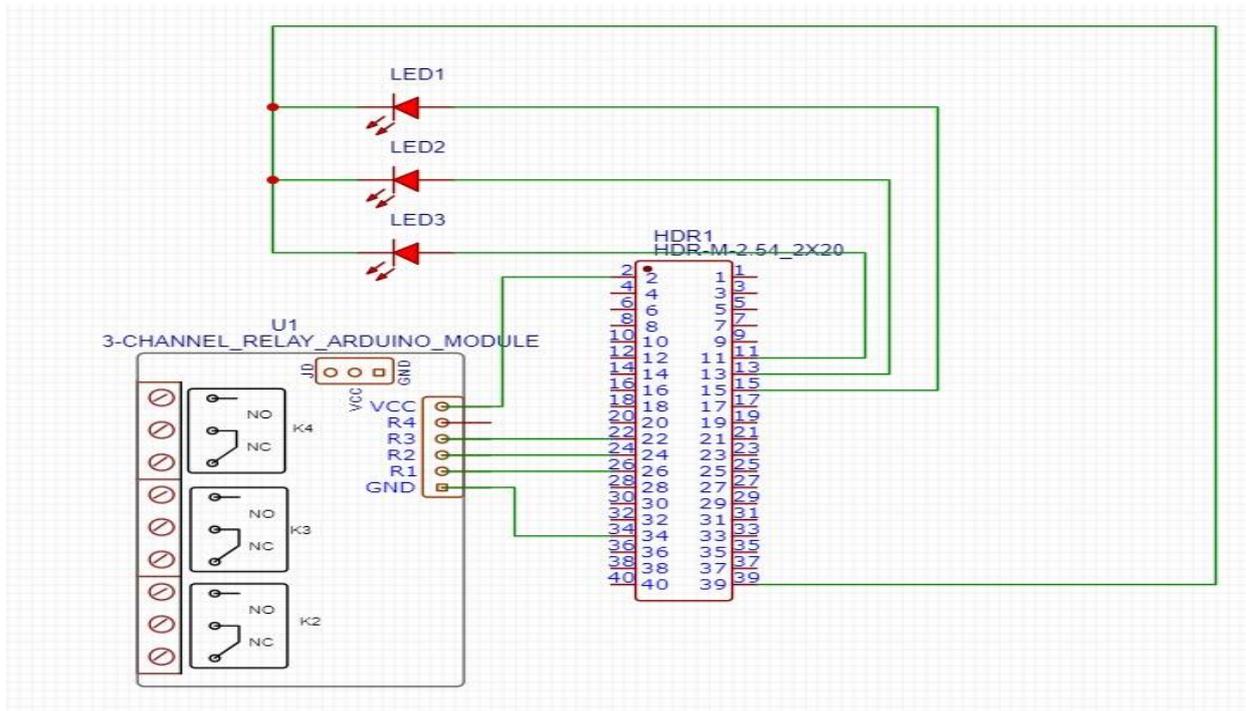


Fig. 3. Pinout scheme for control and signal pins of the mini PC Raspberry pie 4

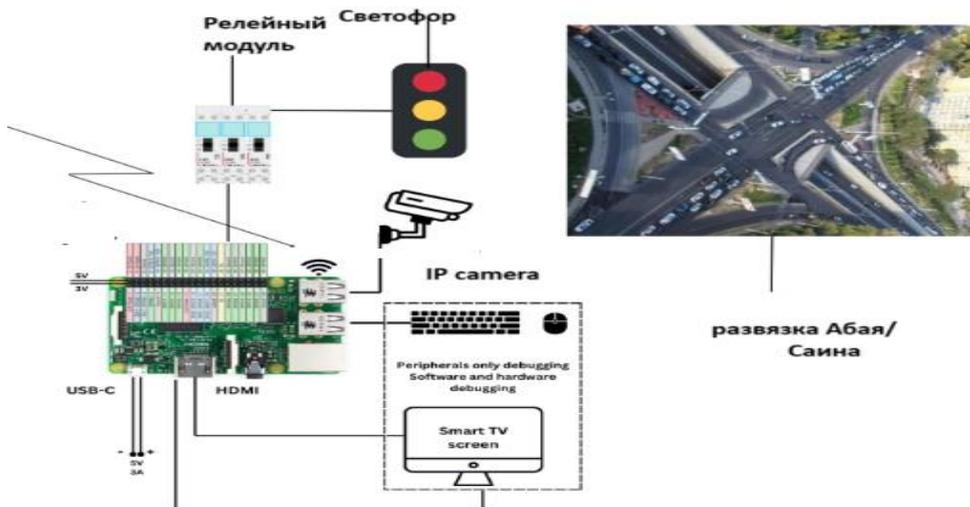


Fig. 4. Connection diagram of a mini PC, keyboard, mouse and display, IP camera and relay unit

To connect the relays, follow the procedures described earlier. Connecting a keyboard, mouse, and webcam is standard through the PC's USB ports. When connecting an IP camera, you need to plug its network cable into the PC's network COM port (see Figure 2, link "b"), and power the chosen IP camera using a 12-volt adapter. The mini-PC is powered standardly through a USB-C connector. The mini-PC also features a mini HDMI port, allowing it to be connected to any TV display via an HDMI connector [22], [23].

IV. RESULTS AND DISCUSSION

After completing the commissioning work for installing Debian GNU/Linux, loading Python libraries CV2, Ultralytics libraries with the YOLOv8 neural network [24], and the Client_Reley.py program, we manually launch the program for recognizing the number of cars in front of the smart traffic light with computer vision. In Figure 5a, it is shown that the program counts the number of cars and changes the duration of the green phase of the traffic light panel accordingly. Figure 5b provides the code for the recognition program. Thus, the IP camera works as a sensor, while at the same time, the PC memory holds an image of the traffic situation, which also carries important information for the traffic control officer (DPS).



Fig. 5. Recognition of the number of AI machines and software code for adaptive control of traffic light phases by a smart traffic light with neural computer vision c CNN YOLOv8n

Hence, when testing the prototype in laboratory conditions, the startup and shutdown of programs and the PC as a whole are performed in the same way as on laptops. To do this, all programs need to be closed, the "Start" button pressed, and "Shutdown" initiated. Startup is done in reverse order. This method of stopping/starting is not feasible for a real traffic light, as it will be installed on a pole with limited access to the equipment (see Figure 6).



Fig. 6. The layout of the smart traffic light control unit with computer vision and an IP camera on a street pole

Note that the street power supply for traffic lights has limited reliability, and the uninterrupted power supply in some areas of the city leaves much to be desired. Therefore, it is necessary to develop methods for configuring the Raspberry Pi 4 mini-computer that allow the smart traffic light with computer vision and an IP camera to autonomously resume operation from the point of stop.

In the Windows 10 operating system and standard industrial microcontrollers, the problem of auto-restart due to power outages is solved in two ways. The first is the use of an uninterruptible power supply (UPS), and the second is system restoration using the BIOS command "Restore on AC Power Loss." Industrial microcontrollers autonomously restore their operation by default.

The situation is complicated by the loss of power to the Raspberry Pi 4 mini-computer (RAM 8GB/1.2 GHz) running Debian GNU/Linux—a limited version of the Linux OS. Manual restart is possible in limited cases during preventive maintenance. To improve the reliability of the R&D project, it is necessary to solve the problem of auto-restarting the entire system in case of power loss and restoration. Below is an algorithmic analysis and the code for configuring the auto-restart in the BIOS of the Raspberry Pi 4 processor.

In algorithmic notation, the sequence of batch commands for the BIOS of the Raspberry Pi 4 processor is as follows:

It should be noted that for the Raspberry Pi 4, there are several options for implementing the auto-restart of applications, which are achieved by modifying the system startup scripts [24].

Option 1: You can modify the rc.local startup script, which runs at the beginning of Raspberry's startup and is supported even in manual startup mode. To use this auto-start option, you need to change the code of this script using the command:

```
sudo nano /etc/rc.local
```

Add a series of terminal commands at the end of the file before the command exit 0. Note that this implementation is considered outdated and is recommended for use in specific cases.

Option 2: You can also add a task using crontab. This option works by modifying the crontab task file script using the command:

```
crontab -e
```

The uniqueness of using crontab is the ability to add a schedule/cycle for running the script, as crontab is a task manager.

Option 3: The most optimal option for auto-start is to create an internal service in Raspberry. This can be implemented using the following commands:

```
Create a service->sudo nano /etc/systemd/system/servicename.service, then change the file permissions->sudo chmod 644 /etc/systemd/system/servicename.service-> then enable the service sudo systemctl daemon-reload->sudo systemctl enable servicename.service
```

Thus, in option 3, the system settings of the Raspbian-Linux OS optimally solve the problem of auto-starting the operating system and the client program for computer vision for neural network image recognition.

This program will automatically search and connect to the server on the police dispatcher's PC via Bluetooth, transmitting data on the traffic intensity at the Abay/Saina intersection.

The results obtained are important due to the limited access to the street IP camera with cv2 and the electrical box with the automated system, as access to the system is possible only during commissioning work.

V. CONCLUSION

As a result of the R&D, the following findings have been established:

1. The use of industrial microcontrollers to solve the problem of recognizing traffic intensity through video images requires computers with large amounts of RAM and libraries such as CV2, GPIO, Ultralytics, and CNN YOLOv8 in the nano version.

2. The most compact, affordable, and budget-friendly mini PC in the Republic of Kazakhstan with such parameters is the Raspberry Pi4 /RAM 8Gb/1.2 GHz.

3. The commissioning work for installing Debian GNU/Linux, applications, and programming environments is described in technical literature. However, configuring system BIOS programs requires highly qualified system programmers.

4. The issue of manually restarting the system after a power outage is resolved during laboratory prototype testing. However, in street tests, there is a critical need to develop and configure the auto-start BIOS of the Raspberry Pi4 /RAM 8Gb/1.2 GHz mini-computer after power loss and restoration.

5. The conducted test trials demonstrated the reliability of the developed adaptive traffic light management system with neural network computer vision under city conditions and power outages.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by Committee of Science of Republic of Kazakhstan AP19678998 "Neurocomputer Vision of Smart Traffic Lights in Megacities of the Country".

REFERENCES

- [1] <https://habr.com/ru/articles/125282/>
- [2] Evstigneev Igor Anatolyevich. Intelligent transport systems on highways of federal importance in Russia. – M. Pero Publishing House, 2015. – 132 p.
- [3] Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar, and Ross Girshick. Mask r-cnn. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017.
- [4] Joseph Redmon and Ali Farhadi. Yolov3: An incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018.
- [5] Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, and Alexander C. Berg. Ssd: Single shot multibox detector. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2020.
- [6] Tsung-Yi Lin, Priya Goyal, Ross Girshick, Kaiming He, and Piotr Dollar. Focal loss for dense object detection. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019.
- [7] Jiarui Xu, Yue Cao, Zheng Zhang, and Han Hu. Spatialtemporal relation networks for multi-object tracking. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019.
- [8] K. ANNAPURNA, K. DEEPTHI, B. SEETHA RAMANJANEYULU, Comparison Of Soft Fusion Techniques for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks , International Journal of communication and computer Technologies: Vol. 9 No. 1 (2021)
- [9] Philipp Bergmann, Tim Meinhardt, and Laura Leal-Taixe. Tracking without bells and whistles. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019.
- [10] Zhao, G., Li, G., Xu, R., Lin, L. (2020). Collaborative Training Between Region Proposal Localization and Classification for Domain Adaptive Object Detection. In: Vedaldi, A., Bischof, H., Brox, T., Frahm, JM. (eds) Computer Vision – ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12363. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58523-5_6.
- [11] Zhichao Lu, Vivek Rathod, Ronny Votel, and Jonathan Huang. Retinatrack: Online single stage joint detection and tracking. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020.

- [12] Zhongdao Wang, Liang Zheng, Yixuan Liu, and Shengjin Wang. Towards real-time multi-object tracking. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2020.
- [13] Yifu Zhang, Chunyu Wang, Xinggong Wang, Wenjun Zeng, and Wenyu Liu. Fairmot: On the fairness of detection and re-identification in multiple object tracking. arXiv preprint arXiv:2004.01888, 2020.
- [14] Jinlong Zhu, Qingliang Li, Changbo Gao, Yu Ge, Ke Xu, Camera-aware re-identification feature for multi-target multi-camera tracking, Image and Vision Computing, Volume 142, 2024, 104889, ISSN 0262-8856, <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2023.104889>.
- [15] Yuhang He, Xing Wei, Xiaopeng Hong, Weiwei Shi, and Yihong Gong. Multi-target multi-camera tracking by tracklet-to-target assignment. IEEE Transactions on Image Processing, 29:5191–5205, 2020.
- [16] Zheng Tang, Milind Naphade, Ming-Yu Liu, Xiaodong Yang, Stan Birchfield, Shuo Wang, Ratnesh Kumar, David Anastasiu, and Jenq-Neng Hwang. Cityflow: A city-scale benchmark for multi-target multi-camera vehicle tracking and re-identification. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019.
- [17] Hung-Min Hsu, Tsung-Wei Huang, Gaoang Wang, Jiarui Cai, Zhichao Lei, and Jenq-Neng Hwang. Multi-camera tracking of vehicles based on deep features re-id and trajectory-based camera link models. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2019.
- [18] Yijun Qian, Lijun Yu, Wenhe Liu, and Alexander G. Hauptmann. Electricity: An efficient multi camera vehicle tracking system for intelligent city. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2020.
- [19] Rozhansky, D. V. Improving the use of peripheral devices in the modernization of automated control systems by road traffic / D. V. Rozhansky, D. V. Navoy // Bezpeka dorozhny ruhu of Ukraine : collection of scientific papers of the Higher Attestation Commission of Ukraine – Kiev : GNITS BDD DDPSMM of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 2016. – No. 1-2.
- [20] Simon Monk. Raspberry Pi. Collection of recipes. Solving software and hardware problems.- M.: Dialectics, 2019,. 528s.
- [21] Duisembayeva Laura Serikovna, Belgibaev Baurzhan Abdrakhimovich, Mansurova Madina Yessimkhanovna, Abdrahim Sanzhar. Eldin megapolisterin smart bagdarshamdaryn neurondyk computerlik korinisi.- Copyright certificate of the Republic of Kazakhstan No. 39772 dated October 19, 2023
- [22] <https://ru.dz-techs.com/mini-pc-vs-raspberry-pi-whats-best-for-desktop/>
- [23] <https://ru.dz-techs.com/operating-systems-you-can-run-with-raspberry-pi/>
- [24] <https://www.thedigitalpictureframe.com/ultimate-guide-systemd-autostart-scripts-raspberry-pi/>

ФОСФОРИТ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ АГЛОМЕРАЦИЯ ҮРДІСІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУДЫ ҮЛГІЛЕУ

М. Толганбаева¹, А.А. Орманбекова², Е.С. Тургынбеков¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

ОӘК 004.89

Аңдатпа. Бұл жұмыс COMSOL Multiphysical бағдарламалық құралының көмегімен фосфатты тау жыныстарының қалдықтарының интеллектуалды агломерация үрдісін модельдеуге арналған. Шикізатты дайындау, термиялық өңдеу, салқындату және сақтауды қамтитын үрдістің негізгі кезеңдері сипатталған. Модельдеу кеуекті материалдардағы жылу алмасудың физикалық реттелуін бақылайды, температураның өзгеруін дәл бақылауға мүмкіндік береді. Мақалада қатты және газ тәріздес фазалар арасындағы жылу алмасуға талдау жасалды. COMSOL Multiphysics пайдалану үрдіс параметрлерін тиімді баптауға, дифференциалдық әдістер жүйесінің өлшемділігін азайтуға, физикалық эксперименттермен салыстырғанда уақыт пен қаржылық ресурстарды айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: интеллектуалды басқару, жылу алмасу, агломерат, үлгілеу, үрдісті модельдеу, оңтайландыру.

Кіріспе

Тау-кен және химия өнеркәсібінің дамуымен жаңа интеллектуалды алгоритмдерді әзірлеуді талап ететін фосфатты тау жыныстарының қалдықтарын агломерациялау үрдісін басқару мәселесі туындайды. Сондықтан бұл зерттеудің өңдеуші сектор үшін маңызы зор және тиімдірек технологияларды жасауға әкелуі мүмкін. Фосфорит қалдықтарының агломерация мәселесін талдау және зерттеу қазіргі қоғамда өзекті және сұранысқа ие мәселелердің бірі болып табылады. Фосфатты тау жыныстары қалдықтарының көлемінің өсуіне байланысты оларды басқарудың тиімді әдістерін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Бұл қоршаған ортаның ластануының артуына және өндіріс үрдісінің өнімділігінің төмендеуіне әкеледі. Сондықтан фосфорит қалдықтарын агломерациялау мәселесінің өзектілігін зерттеу қазіргі жағдайды жақсартудың және қоршаған ортаға кері әсерін азайтудың нақты әдістерін жасауға мүмкіндік береді. Зерттеудің негізгі мақсаты жасанды интеллект әдістерін қолдана отырып, фосфатты тау жыныстарының қалдықтарын агломерациялау процесін басқарудың интеллектуалды алгоритмдерін жасау болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін агломерация процесіне теориялық талдау жүргізу, осы процесті басқарудың қолданыстағы әдістерін зерттеу және фосфатты тау жыныстарының қалдықтарын агломерациялау процесін оңтайландырудың интеллектуалды алгоритмдерін қолдану мүмкіндігін талдау сияқты мәселелерді шешу қажет.

1. Тапсырма қою

Агломерлеу үрдісі – металлургиялық шихтаның құрамдас [1] бөліктері болып табылатын ұсақ материалдарды (руда, кен концентраттары, флюстер, қалдықтар және т.б.) пішіні мен қасиеттерін (химиялық құрамы, құрылымы) балқытуға қажет. Фосфорит кендерін агломерациялау үрдісі Қазақстанның оңтүстігінде, Қаратау кен орнына жақын орналасқан Жаңа Жамбыл фосфор зауытында (ҚДФЗ) жүргізіледі. Агломерация әдісі 1623 К дейінгі температурада АКМ-7-312 агломерациясында фосфориттің ұсақ бөлшектерін

агломерациялау болып табылады, мұнда ұсақталған кокс қатты отын ретінде әрекет етеді. Агломерация зауыттағы сары фосфор өндірісінен кейінгі екінші маңызды үрдіс болып табылады, ол үшін агломерат бастапқы шикізат болып табылады. Технологиялық үрдіс шихтадағы отынның айтарлықтай өзгеруіне әкелетін дозалаусыз берілетін шихтаны суық және үшінші реттік қайтарумен бастапқы араластырудан басталады. Содан кейін шихта қозғаушы таспаға бағытталады, онда ол табиғи газ немесе CO₂ арқылы жанып [2], горн арқылы өтеді. Фосфорит кендерінің агломерациясының негізгі кезеңдері 1-суретте келтірілген. Фосфорит кендерінің агломерациясының негізгі кезеңдері келесідей:

1. *Шихтаны дайындау*: ұсақтау және ұнтақтау: фосфорит кені қажетті ұнтаққа дейін ұнтақталады (әдетте 0-5 мм); кептіру: ұнтақталған кен ылғалды кетіру үшін кептіріледі, өйткені артық ылғалдылық агломераттың нәзік бөліктеріне әкелуі мүмкін; дозалау: кен, ағын (әдетте әктас) және отын (кокс, антрацит) берілген шихта рецептіне сәйкес мөлшерленеді; араластыру: шихта компоненттері біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін мұқият араластырылады.



1-сурет. Фосфорит кендерінің агломерациясының негізгі кезеңдері

2. *Агломерациялық машинаның таспасына шихта төсеу*: қабаттың қалыптасуы: шихта агломерациялық машинаның таспасына біркелкі бөлініп, берілген қалыңдықтың қабатын құрайды; тығыздау: шихта қабаты оның беріктігі мен біркелкі жылынуын қамтамасыз ету үшін арнайы құрылғылардың көмегімен тығыздалады.

3. *Шихтаны жағу*: алдын ала тұтану: жанармай қабаты шихтаның бетіне жағылады; негізгі тұтану: шихтаны белгілі бір температураға дейін қыздырғаннан кейін, негізгі тұтану жүреді, бұл шихтаның бүкіл қабатында жанармайдың жануын қамтамасыз етеді.

4. *Шихта агломерациясы*: жылыту аймағы: шихта жылыту аймағынан өтеді, онда ол жанармайдың тұтану температурасына дейін біртіндеп қызады; кептіру аймағы: кептіру аймағында қалдық ылғал шихтадан шығарылады; қарқынды қыздыру аймағы: бұл аймақта

шихта температурасы агломерация температурасына (1200-1350°C) дейін тез көтеріледі; агломерация аймағы: агломерация аймағында [3] агломераттың берік бөліктерін қалыптастыру үшін шихта компоненттері балқып, агломерацияланады; салқындату аймағы: агломерат тасымалдау кезінде бұзылмайтын температураға дейін салқындатылады.

5. *Агломератты ұсақтау және елеу:* ұсақтау: салқындатылған агломерат қажетті фракцияларға бөлінеді; елеу: агломераттың күйдірілмеген бөліктері мен мөлшеріне сәйкес келмейтін фракциялар бөлінеді.

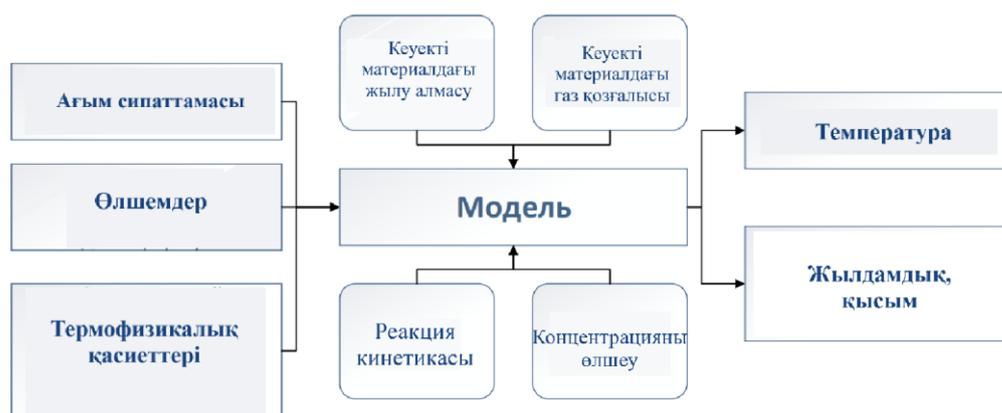
Нақты инженерлік есептеулер физикалық эксперименттер мен прототиптерді ауыстыруды болдырмайтын тәжірибелік үлгілерді қолдануға негізделген. Бұл модельдер өнеркәсіптік жарықтандыруды немесе өндіріс процесін жобалауды жеңілдетеді. Модельдеу жылдам, тиімді және уақыт бойынша физикалық эксперименттер мен прототипті сынаудан артықшылығы бар процесті оңтайландырудың жақсы әдісі.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Модельдеу объектісі – бастапқы материал, шихта берілетін паллет болып табылады. Тау астындағы паллетке газ беруді модельдеу үшін сатылы сигнал қолданылады, бұл тау астындағы паллеттің орташа уақытына сәйкес келеді. Бұл болжамдар әдебиеттер көздерінен алынған мәліметтерге негізделген [4] және агломерацияның қозғалу жылдамдығын ескереді. Агломерацияның ұзындығы - 78 м, орташа жылдамдығы - 3,6 м/мин, ал шихта қабатының биіктігі – 260 мм. Әдебиеттер шолуында көрсетілгендей, агломерация үрдісін модельдеу, атап айтқанда агломерация кезіндегі температураның өзгеруі қатты және газ тәрізді орталар арасындағы жылу алмасудың физикалық заңдылықтарына негізделген. Агломерациялық күйдіру нәтижесінде шихта кесек материал болып табылатын және негізінен кеуекті материал болып табылатын агломератқа айналады.

Агломерация үрдісінің математикалық моделі келесі физикалық және химиялық құбылыстарды сипаттайды (2-сурет):

- Кеуекті материалдағы жылу алмасу.
- Эргун және Бринкман теңдеулері арқылы кеуекті материалдағы газ қозғалысы.
- Кокстың жануының химиялық реакциялары және шихтаның ылғалдылығын есепке алу.
- Газ концентрациясының өзгеруі.



2-сурет. Модельдің схемалық көрінісі

Агломерлеу үрдісін модельдеу кезінде модель кірісінде келесі айнымалылар өзгереді:

- ағын мәндері – температура және газ/ауа массалық үлесі.
- өлшемдері – паллет ұзындығы, қабат биіктігі, түйіршіктердің орташа диаметрі.

- шихта мен газдың термофизикалық қасиеттері – жылу өткізгіштік, жылу сыйымдылық, кеуектілік, тұтқырлық.

Модельдің шығысында біз келесі параметрлерді басқара аламыз:

- зарядтау температурасы.
- газ ағынының жылдамдығы.
- қабат қысымы.
- қабаттағы CO, CO₂, O₂ мөлшері.

Осылайша, модельдеу есебінің тұжырымы келесідей: агломерация үрдісінің кірісіндегі айнымалыларға сүйене отырып, шихтаны агломерациялау кезінде болатын физикалық және химиялық құбылыстарды көрсететін модельді құру қажет, ол анықтайды үрдісті басқаруға арналған негізгі айнымалылар болып табылады.

Кеуекті орта арқылы жылу беру әдетте қатты матрица бойындағы жылу өткізгіштікті, ішкі кеуектер арқылы жылу шығаруды және кеуектерді толтыратын газдар арқылы жылу беруді қамтитын жылу ағындарының жиынтығы ретінде қарастырылады. Газ толтырылған кеуектердегі конвективті және өткізгіш жылу ағыны арасындағы соңғы, еріксіз таңдауға келетін болсақ, конвективтік жылу беру шамамен 10 мм-ден аз тесіктерде басылады. Кеуекті материалдардың инженерлік және ғылыми пәндердің кең ауқымында қолданылуы бар. Кеуекті материал негізінен қатты және газ (немесе сұйық) фазадан тұратын екі фазалы құрылым болып табылады. Бастапқы фосфорит заряды және соңғы агломерат қатты және газ тәрізді фазалар қарастырылатын кеуекті материалдар болып табылады. Кеуекті материалдағы қатты және газ тәрізді фазалардың температуралары $T_s = T_f = T$ тең және [5] келесі формуламен анықталады:

$$\theta \rho_s c_{p,s} + (1 - \theta) \rho_c c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_s u \nabla T + \nabla(-(\theta k_s + (1 - \theta)k) \nabla T) = Q \quad (1.1)$$

мұндағы k – жылу өткізгіштік (газ) [Вт/(м · К)], ρ – жарықтандыру (газ) [кг/м³], c_p – тұрақты газ (газ) кезіндегі жылу сыйымдылығы [Дж/(кг · К)], θ – көлемдік үлес (қатты дене), k_s – жылу өткізгіштік (кеуекті матрица) [Вт/(м · К)], ρ_s [кг /м³] – кеңістіктік (кеуекті матрица), $c_{p,s}$ – меншікті жылу сыйымдылығы (кеуекті матрица) [Дж/(кг · К)], Q – атмосфералық құбылыстардан алынатын жылу көзі [Вт/м³] және, u – кеуекті ортадағы газдың жылдамдығы.

Бастапқы температура мәні ретінде қоршаған орта температурасы $T_0 = 20,15^\circ\text{C}$ алынады. Паллеттерді қарастырудың шекаралық шарттары:

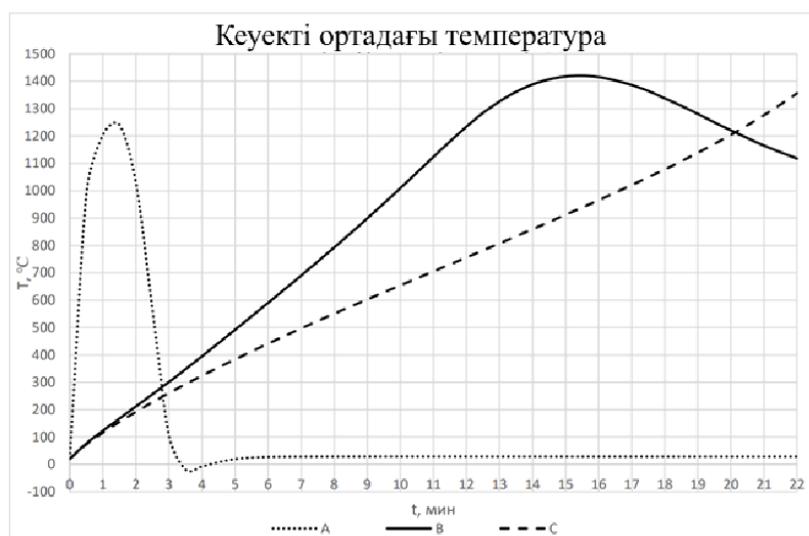
- паллеттердің сол және оң жақ бөліктері зарядпен бірдей температураға ие;
- 1200°C (0-2 мин) температурасы бар газ жоғарыдан тау астында болу үрдісін модельдейтін паллетке беріледі, ал 2 минуттан бастап агломерациялық белдеуінің соңына дейін болады;
- қоршаған орта температурасы;
- агломерациялық газдар агломерациялық белдеуден өтеді және вакуумдық камералармен жұтылады.

Модельдеу үшін COMSOL Multiphysics ортасы таңдалды, ол дизайнның, өндірістің және ғылыми зерттеулердің әртүрлі салаларындағы әртүрлі жүйелерді, құрылғыларды және үрдістерді цифрлық модельдеуге арналған [6] графикалық платформа болып табылады. Бірінші кезеңде модельді есептеу үшін қолданылатын барлық ғаламдық параметрлер мен айнымалыларды орнату қажет. Бұл баптау жаһандық анықтамалар бөлімінде орындалады, мұнда бастапқы параметрлерді сандар, математикалық өрнектер, қисық сызықтар (мысалы, қадам – бір қадам), сонымен қатар кестелер түрінде орнатуға болады. Жаһандық параметрлер мен айнымалылар модельдеу бірнеше үрдістерді қамтитын немесе COMSOL тілімен айтқанда, бірнеше байланысы жоқ құрамдастарды жасаған кезде анықталады. Бұл жағдайда қатты және газ тәріздес орталар арасындағы жылу алмасудың физикалық

заңдылықтарын, сондай-ақ кеуекті ортадағы жылу алмасуды қолданатын екі түрлі модель әзірленеді.

3. Сандық есептеулер

Кеуекті материалдың жылу алмасу заңының агломерация үрдісіне қолданылуы әртүрлі агломерациялық зерттеулерде ұсынылған стандартты газ және қатты фазалық жылу алмасу үлгілері арқылы тексеріледі. Алдымен зарядтың (3-сурет) А, В және С нүктелеріндегі температура қисықтарының түрі, сондай-ақ агломерат ішіндегі газ фазасының жылдамдығы анықталады. Агломераттың агломерациясын сипаттайтын негізгі параметр температура болғандықтан, қатты және газ тәріздес орталар арасындағы жылу алмасу модельдері үшін температураны, сондай-ақ кеуекті материалдағы А, В және С нүктелерінде жылу беруді есептеу қажет.



3-сурет. Кеуекті ортаның әртүрлі нүктелеріндегі температура

Графиктен көрініп тұрғандай, агломерация үрдісін модельдеу үшін кеуекті материалдағы жылу алмасудың физикалық заңдылықтарын пайдалану қатты және газ тәрізді орталар арасындағы жылу алмасуды модельдеуден іс жүзінде [7] еш айырмашылығы жоқ. 1350°C температурадағы орташа квадрат қатесі зарядтың бірдей бастапқы параметрлерімен 4°C-ден аз. Сонымен қатар, кеуекті материалдарда жылу тасымалдағыш моделін пайдалану модельді жеңілдететін және модельді орнатуды, басқа физикалық үрдістермен байланыстыруды және есептеу ресурстарын қоса алғанда, модельдеу ресурстарын тұтынуды азайтатын ішінара дифференциалдық теңдеулер жүйесінің өлшемділігін төмендетеді.

4. Қорытынды

Қатты және газ тәріздес орталар арасындағы жылу алмасудың физикалық үрдістері арқылы осы үрдістің динамикасын сипаттайтын агломерация үрдісінің көптеген математикалық модельдері бар. Модельдеу әртүрлі физикалық үрдістердің дайын кітапханаларын қамтамасыз ететін, үрдістің геометриясын дәл анықтауға және әртүрлі шешу әдістерін қолдана отырып, ішінара дифференциалдық теңдеулерді есептеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін COMSOL Multiphysics бағдарламалық құралын пайдалану арқылы орындалды. COMSOL Multiphysics орнатудың қарапайымдылығы, бастапқы теңдеулерді өзгерту және шешім әдісін таңдау мүмкіндігі және 3D модельдеу мүмкіндіктері

модель жасау уақытын қысқартуға және зерттеу және инженерлік мақсаттар үшін дәл нәтижелерді алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл модель зарядтағы вакуум, заряд биіктігінің өзгеруі, паллет жылдамдығы, шихтадағы кокс мөлшері мен фосфорит концентрациясы, ошақ астындағы тұтану температурасы сияқты кіріс үрдісінің айнымалыларын өзгерту бойынша эксперименттер жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл тәжірибелер нақты зауыт сынақтарын жүргізуге қажетті уақыт пен ресурстарды азайтады.

Әдебиеттер тізімі

1. Токтасынова Н., Сулейменов Б., Болеева Л. Современное состояние методов синтеза систем управления точкой спека при агломерационном обжиге // Вестник КазННТУ. – 2018. – №5. – С. 134-137.
2. Mitterlehner J., Loeffler G., Winter F., Hofbauer H., Schmid H., Zwittag E., Buergler T. H., Pammer O. and Stiasny H. Modeling and Simulation of Heat Front Propagation in the Iron Ore Sintering Process // ISIJ International. – 2014. – Vol. 44, №.1 – P. 11-20.
3. Азнабаев Д.А. Совершенствование теории твердофазных химических реакций и интенсификация процесса агломерации: ил РГБ ОД 61:85-5/4899: <http://www.dslib.net/cvetn-metallurgia/sovershenstvovanie-teorii-tverdofaznyh-himicheskikh-reakcij-i-intensifikacija.html>
4. Hansen J. F. Nusselt, Rayleigh, Grashof, And Prandtl: Direct Calculation of A Userdefined Convective Heat Flux // Excerpt from the Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Grenoble. – 2015 – P. 1-5: https://www.comsol.com/paper/download/291661/hansen_paper.pdf.
5. Du S., Wu M., Chen X., Lai X., Cao W. Intelligent Coordinating control between burn-through point and mixture bunker level in an iron ore sintering process // Journal of advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics. – 2017. – Vol. 21, №1 – P.139-147
6. Vu J. Modelling of Convective Heat Transfer in Porous Media: Electronic Thesis and Dissertation Repository. 4852. – 2017: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/4852>.
7. Zhou H., Zhao J. P., Loo C. E., Ellis B. G., Cen K. F. Numerical Modeling of the Iron Ore Sintering Process // ISIJ International. – 2015. – Vol. 52, №9. – P.1550– 1558

*Толганбаева Мәлдір – оқытушы. М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті;
080000, Тараз;*

*Орманбекова Айнур Алибековна – PhD. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: ainura.alibekd@gmail.com*

*Тургынбеков Ербол Сарсенбекович – аға оқытушы. М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті;
080000, Тараз; e-mail: es.turgynbekov@dulaty.kz*

КӨШЕЛЕРДІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖАРЫҚТАНДЫРУ: ЗАМАНАУИ ҚАЛАЛАР ҮШІН СОҢҒЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

М.Ш. Джунисбеков¹, А.А. Орманбекова², Е.С. Тургынбеков¹, Б.Б. Тлемисов¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

ОӘК 004.89

***Аңдатпа.** Мақалада жарықдиодты технологиялар мен басқарылатын электронды жүйелер негізіндегі көшелерді жарықтандыру саласындағы заманауи әзірлемелерге шолу жасалынған. Смарт шамдардың жұмыс принципі және олардың энергия тиімділігі мен ұзақ мерзімділігі сияқты дәстүрлі шешімдерден артықшылығы сипатталған. IoT және датчиктердің энергия тұтынуды оңтайландырудағы және қалалық ортада жарықтандыруды басқаруды жақсартудағы рөлі қарастырылады. Сонымен қатар смарт жарықтандыруды енгізудің жаһандық тәжірибесін және оның қалалық ортаның қауіпсіздігі мен тұрақты дамуына әсері талқыланған.*

***Кілттік сөздер:** интелектуалды жарықтандыру, LED шамдар, энергия тиімділігі, жарықдиодты төзімділік, қала инфрақұрылымы.*

Кіріспе

Заманауи көшелерді жарықтандыру азаматтардың өмірі мен белсенділігіне айтарлықтай әсер ете отырып, жайлы және қауіпсіз қалалық ортаны құруда шешуші рөл атқарады. Бұл тек жарық көздері ғана емес, сонымен қатар өмір сапасын жақсартуға және қалалық инфрақұрылымның тиімділігін арттыруға көмектесетін элементтер.

Көшелерді жарықтандырудың бірнеше маңызды функциялары бар. Біріншіден, түнгі уақытта жол-көлік оқиғалары мен қылмыс қаупін азайту арқылы жаяу жүргіншілер мен көліктердің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Жоғары сапалы жарықтандыру көшелердегі көрінуді және жалпы ортаны жақсартады, бұл әсіресе халық тығыздығы жоғары қалалар үшін маңызды болып табылады [1]. Екіншіден, ыңғайлы қалалық ортаны құруда көшелерді жарықтандыру маңызды рөл атқарады. Жақсы жарықтандырылған көшелер тұрғындар мен туристерді қызықтырады, кешкі және түнгі уақытта қалалық туризм мен іскерлік белсенділікті дамытады. Бұл сонымен қатар қала мәдениеті мен әлеуметтік өмірінің дамуына, демалыс пен белсенді уақыт өткізуге арналған қауіпсіз аймақтардың ұлғаюына ықпалын тигізеді.

1. Тапсырма қою

Технологияның дамуымен көшелерді жарықтандыру функционалдылық пен тиімділіктің жаңа деңгейіне көшті. Жарық диодты шамдарды пайдалану дәстүрлі қыздыру немесе газоразрядты шамдармен салыстырғанда энергияны тұтынуды айтарлықтай азайтады. Бұл экономикалық тұрғыдан тиімді болып қана қоймай, сонымен қатар қалалық инфрақұрылымның экологиялық тұрақтылығына ықпалын тигізе алады. Заманауи смарт қала және IoT технологияларымен біріктірілген басқарылатын жарықтандыру жүйелері жаяу жүргіншілер немесе көлік қозғалысы сияқты қоршаған ортадағы өзгерістерге жауап беруге және нақты уақытта жарық деңгейін автоматты түрде [2] реттеуге мүмкіндік береді. Бұл энергия тұтынуды оңтайландырады және көшелерді жарықтандырудың жалпы тиімділігін арттырады, қалаларды экономикалық және экологиялық тұрғыдан тұрақты етеді. Осылайша, заманауи көшелерді жарықтандыру қала тұрғындары мен қонақтарының қауіпсіздігі мен жайлылығын қамтамасыз етіп қана қоймай, тұрақты дамуға және өмір сүру сапасын жақсартуға ықпал ететін қалалық инфрақұрылымды

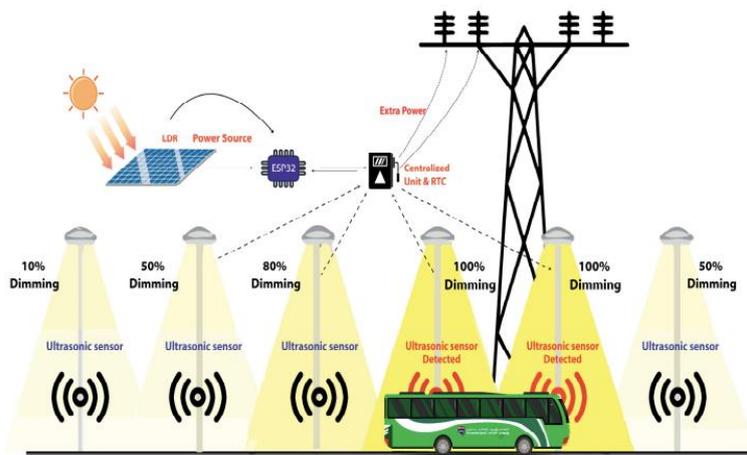
жалпы жаңғыртуда маңызды рөл атқарады.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Ақылды қалалар смарт құрылғылардың көбеюі, заттар интернеті (IoT) қосымшаларын кеңінен қолдану және өмір сапасын жақсартуға жаһандық назардың артуы арқасында танымал болуда. Ақылды қала тұжырымдамасы алты негізгі атрибуттармен сипатталады: ақылды басқару, ақылды өмір салты, ақылды экономика, ақылды адамдар, ақылды көлік және ақылды орта. Сыртқы жарықтандыру жаһандық электр энергиясын тұтынудың 15-19% құрайды, жарықтандыру адамзаттың жылдық энергетикалық ресурстарының шамамен 2,4% тұтынады, нәтижесінде атмосфераға парниктік газдар шығарындыларының 5-6% құрайды [3]. Қоғамдық жарықтандыру жүйелерінің шамамен 66% ескірген және тиімсіз технологияларға сүйенеді, бұл шамадан тыс энергияны тұтынуға әкеледі. Бұл құбылыстың қоғамдық жарықтандыру инфрақұрылымын жақсарту және энергия тұтынуды азайту үшін айтарлықтай потенциалы бар. Жарықтандыру аясында тұтынылатын энергияның шамамен 5% қаланың немесе елді мекеннің жалпы энергия тұтынуының құрамдас бөлігі болып табылатын жалпы жарықтандырудан келеді. Нәтижесінде көше шамдары энергияның айтарлықтай мөлшерін тұтынады, бұл мәселені шешу және көше жарығын тұтынуды азайту стратегияларын әзірлеу қажеттілігін көрсетеді.

Бұл зерттеудің назары энергия тиімділігі мен шығындарды азайту үшін маңызды болып табылатын жарық диодты (LED шамдар) шамдарды пайдаланатын ақылды көшелерді жарықтандыру жүйесіне бағытталған. Эксперименттік нәтижелер көшелерді жарықтандырудың дәстүрлі жүйелерімен салыстырғанда әлеуетті энергияны үнемдеу 80% дейін болуы мүмкін екенін көрсетеді. Сонымен қатар, жүйе терминалды құрылғылар арқылы қала көшелері шамдарының күйін қашықтан бақылауға және интеллектуалды басқаруға мүмкіндік береді.

Қарастырылып отырған жүйе үнемді, арнайы аппараттық конфигурация болып табылады, ол датчиктер жиынтығына қосылған деректерді жинау және беру құрылғысын қамтиды. Біріншіден, 1-суретте көрсетілгендей, автоматты және бейімделген көше жарықтандыру жүйесінің жұмыс теориясын жасап, модельдегенімізді байқауға болады. Модельдеу негізінде біз жүйені іске асырдық және оның өнімділігін, сондай-ақ деректерге негізделген шартты күнгірттеуді көрсеттік. Екіншіден, Тараз қаласының қалалық аймағындағы көлік қозғалысының екі көшелерінде жарық уақытында (күн батқаннан келесі күні таң атқанға дейін) көлік қозғалысы туралы нақты деректерді жинадық. Біз жеті күндік трафик деректерін жинап, әр күннің орташа мәнін есептедік. Содан кейін біз жиналған деректерді ұсынылған көше жарықтандыру жүйесі үшін жарықдиодты шамдардың ұзақтығы мен күнгірттеу уақытын анықтау үшін пайдаландық.



1-сурет. Көшелерді жарықтандырудың смарт жүйесінің жұмыс барысына шолу

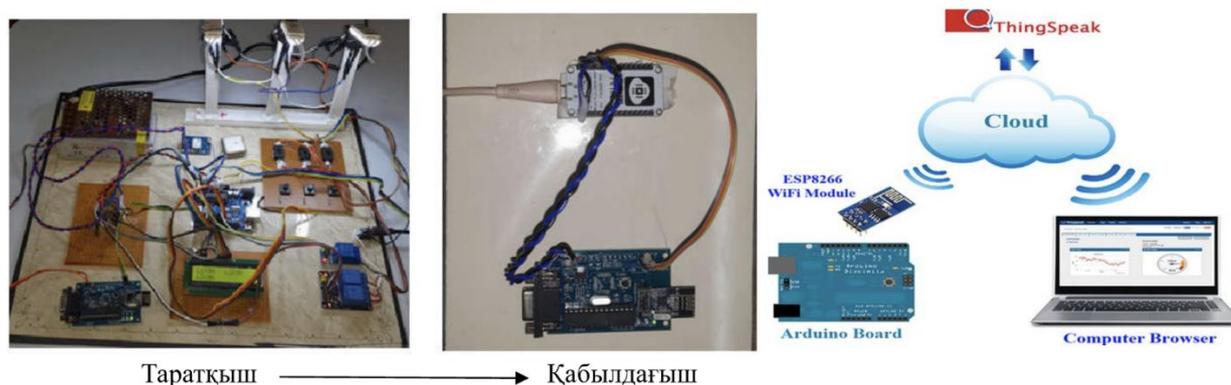
Ұсынылған көшелерді жарықтандыру жүйесін әзірлеу төменде келтірілген жүйенің блок-схемасынан басталады. Ұсынылған көше жарықтандыру жүйесі оңтайлы функционалдылықты қамтамасыз ету үшін негізгі кіріс компоненттері ретінде фоторезисторларды (LDR), ультрадыбыстық сенсорларды және нақты уақыт сағатын (RTC) біріктіреді [4]. Фоторезистор (LDR) жарықтандыру жүйесін сәйкесінше реттеу үшін күндізгі жарық қарқындылығының өзгеруін және вольтпен көрсетілген метеорологиялық ауытқуларды бақылайды. Ультрадыбыстық датчиктер объектілердің, әсіресе автомобильдердің қозғалысын анықтай алады, бұл өтіп бара жатқан көліктердің қатысуымен адаптивті жарықтандыру жүйесін енгізуді жеңілдетеді.

3. Сандық есептеулер

Бұл жобادا тәулік уақытын анықтау үшін LDR датчигі қолданылды. LDR датчигінің кедергісі потенциометр сияқты анықтайтын жарық мөлшеріне байланысты өзгереді. LDR датчигінің бір шығысы 5В көзіне қосылған, ал екінші шығысының ұшы жерге тұйықталған тұрақты кедергіге қосылған. NodeMCU-да схемада көрсетілгендей тұрақты қарсылық пен LDR датчигінің бір шығысы арасындағы нүктеге қосылатын арнайы ADC(A0) шығысы бар. LDR датчигінің кедергісі жарық деңгейлерінің өзгеруіне жауап ретінде өзгертіндіктен, бұл конфигурация A0 бойынша айнымалы кернеуді тудырады. Тұрақты қарсылық мәні шамамен 10 кОм құрайды.

Инфрақызыл датчиктер, керісінше, көшеден өтіп бара жатқан адамдардың немесе нысандардың болуын анықтау үшін қолданылады. Олар инфрақызыл сәулелер шығару арқылы жұмыс істейді, егер олар адам [5], жануар немесе көлік сияқты нысанға тап болса, датчикке кері шағылысады. Қабылдаушы диод шағылысқан инфрақызыл сәулелерді анықтайды, осылайша объектінің болуын растайды, содан кейін сәйкес жарықдиодты белсендіреді. Бұл тәсіл энергияны айтарлықтай үнемдейді, өйткені көше шамдары жақын жерде біреуді анықтаған кезде ғана қосылады.

Әрбір инфрақызыл датчикте әдетте үш шығысы болады: V_0 , Gnd және Vcc. Датчиктердің барлық Gnd шығыстары NodeMCU жүйесіндегі Gnd шығысына қосылған. Сол сияқты, барлық Vcc шығыстары A0 шығысына қосылған. LDR датчиктерінің бір шығысы A0 шығысына, ал екінші ұшы тұрақты кедергіге қосылған. Бұл қарсылықтың басқа шығысы Gnd шығысына қосылған. Инфрақызыл датчиктердің V_0 шығыстары және жарық диодтарының оң шығыстары сандық шығыстарға қосылған. Жарық диодтардың теріс сымдары Gnd шығысына қосылған. Жүйенің жұмыс үлгілері 2 -суретте көрсетілген.



2 - сурет. Жүйенің жұмыс моделі

Заттар интернеті (IoT) үшін жасалынған, әмбебап платформа, осы жобادا қолданылатын IoT-сервері – ThingSpeak болып табылады [6]. ThingSpeak әртүрлі датчиктерден алынған деректерді жинау, сақтау, талдау, визуализациялау және оларға жауап беру мүмкіндігін ұсынатын

ашық деректер және API платформасы ретінде қызмет етеді. Платформа бұлтта нақты уақыттағы деректер ағындарын жинауды, визуализациялауды және талдауды жеңілдететін IoT үшін аналитикалық қызмет ретінде жұмыс жасайды.

ThingSpeak әсіресе IoT жүйесін дамытудың бастапқы кезеңдерінде танымал, ол күрделі деректерді талдауды қажет ететін прототиптер мен тұжырымдаманы дәлелдейтін жобаларды жасауға көмектеседі. Кішігірім коммерциялық емес жобалар үшін ThingSpeak ақысыз қол жетімді, ол жылына шамамен 8 200 хабарға тең келетін жылына 3 миллион хабарламаға дейінгі деректер көлемін өңдеу мүмкіндігін береді. Үлкен қолданбалар үшін ThingSpeak ақылы бірлік ретінде ұсынылады, олардың әрқайсысы бір жыл ішінде 33 миллионға дейін хабарды немесе күніне шамамен 90 000 хабарды өңдеп, сақтай алады [7]. Бұл масштабталатын тәсіл өлшемі шағын немесе маңызды деректерді өңдеу және сақтау мүмкіндіктерін қажет ететін әртүрлі IoT жобалары үшін қолайлы.

4. Қорытынды

Ақылды көше шамдарын бақылау үшін заттар интернетін (IoT) пайдалану энергияны үнемдеуге арналған үнемді, практикалық, экологиялық таза және қауіпсіз шешім болып табылады. Бұл жүйе екі өзекті жаһандық мәселені тиімді шеше отырып, нақты уақытта кез келген жерден жарықтандыру күйі туралы ақпаратқа қашықтан қол жеткізуге мүмкіндік береді: энергияны үнемдеу және ақаулы шамдарды анықтау. Орнату мен ағымдағы жөндеудің бастапқы құны қиындықтар тудыруы мүмкін болса да, технологиялық жетістіктер мен тиімді ресурстарды басқару жобаның шығындарын айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Сонымен қатар, жоғары сапалы жабдықты пайдалану жиі тексеру мен техникалық қызмет көрсету қажеттілігін азайтады. Бұл жобада ұзақ қызмет ету мерзімімен, салқын жарық шығаруымен, улы материалдардың жоқтығымен және жылдам ауысуымен танымал LED технологиясы басты рөл атқарады.

Әдебиеттер тізімі

1. Dr. Anurag Choubey and Dr. Rakesh K Bhujade, “IoT Based Smart Street Light System Using Renewable Energy”, *International Journal of Scientific & Technology Research*, Vol.no. 8, Issue 12, pp.3990-3992, 2019.
2. Hannan, S.; Milton, G.B.; Kabir, M.H.; Uddin, M.J. A Case Study on a Proposed Adaptive and Energy Efficient Street Lighting System for Chittagong City. In *Proceedings of the 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, Dhaka, Bangladesh, 3–5 May 2019; pp. 1–5.
3. Parkash, Prabu V, Dandu Rajendra “Internet of Things Based Intelligent Street Lighting System for Smart City”, *International Journal of Innovative Research in Science*, Vol.no.5, Issue 5, pp.7684- 7691, 2016.
4. Gagliardi, G.; Lupia, M.; Cario, G.; Tedesco, F.; Cicchello Gaccio, F.; Lo Scudo, F.; Casavola, A. Advanced Adaptive Street Lighting Systems for Smart Cities. *Smart Cities* 2020, 3, 1495–1512.
5. Monali Y. Khachane and Y. Chavan, “Intelligent Street Lighting System”, *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, Vol.no.5, Issue 2, 2018.
6. Sutopo, W.; Mardikaningsih, I.S.; Zakaria, R.; Ali, A. A Model to Improve the Implementation Standards of Street Lighting Based on Solar Energy: A Case Study. *Energies* 2020, 13, 630.
7. Bellido-Outeiriño, F.J.; Quiles-Latorre, F.J.; Moreno-Moreno, C.D.; Flores-Arias, J.M.; Moreno-García, I.; Ortiz-López, M. Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol. *Sensors* 2016, 16, 597.

Джунисбеков Мухтар Шардарбекович – т.ғ.к., профессор, М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті;

080000, Тараз; e-mail: msh.dzhunisbekov@dulaty.kz

Орманбекова Айнура Алибековна – PhD. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;

050000, Алматы; e-mail: ainura.alibekd@gmail.com

Турғынбеков Ербол Сарсенбекович – аға оқытушы, М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті;

080000, Тараз; e-mail: es.turgynbekov@dulaty.kz

Тлемисов Бахтияр Бахытулы – аға оқытушы, М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті;

080000, Тараз; e-mail: bb.tlemisov@dulaty.kz

СЕКЦИЯ 11

Ақпараттық жүйелер

Информационные системы

Information Systems

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ АНАЛИЗА КОРПУСОВ ТЕКСТОВ

В.Б. Барахнин^{1,2}, М.В. Карпов³, Е.П. Мачикина^{2,4}, Р.Р. Мусабаев^{1,5}

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева,

²Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
³Новосибирский государственный университет,

⁴Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,

⁵Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК

УДК 004.62

Аннотация. Комфортная работа пользователя с большими корпусами текстов обеспечивается посредством оптимизации веб-приложения, прежде всего, в части оптимизацией работы с базой данных: язык запросов SQL является хорошим примером декларативного языка, что дает возможность производить весьма эффективную оптимизацию запросов. В статье проводится формализация задачи оптимизации, формулируется общая стратегия оптимизации запросов и излагаются конкретные примеры ее реализации, доказывающие высокую эффективность предложенной методики оптимизации.

Ключевые слова: анализ корпусов текстов, оптимизация веб-приложений, оптимизация запросов.

Введение

В настоящее время возникает необходимость работы с корпусами текстов большого объема при решении многих задач обработки естественного языка. К их числу можно отнести, в частности, практически все задачи, связанные с применением методов машинного обучения, например создание больших языковых моделей, а также автоматическое построение онтологий. Важно отметить, что обе названные задачи в принципе не могут иметь окончательного решения: большие языковые модели постоянно пополняются новыми знаниями, равно как и онтологии нуждаются в постоянном расширении и уточнении на основе корпусов текстов, относящихся к различным предметным областям. При этом для обеих задач все более актуальной становится работа с мультязычными корпусами текстов, поскольку такой подход позволяет интегрировать знания, содержащиеся в текстах на разных языках. Разумеется, мультязычность корпусов текстов неизбежно увеличивает их объем.

Классические задачи лингвистики или филологии, решаемые с использованием современных информационных технологий, также предусматривают необходимость работы с корпусами текстов большого объема. Например, создание информационных систем комплексного анализа поэтических текстов, позволяющих, в частности, проводить определение семантики того или иного стихотворного размера, заключающееся в исследовании не его единичных употреблений, а традиции его жанрового и тематического использования, предполагает анализ больших корпусов поэтических текстов.

Программы, работающие с большими корпусами текстов, создаются, как правило, в форме веб-приложений. Такой формат подразумевает, что основная часть работы программы выполняется на удаленном от пользователя сервере, при этом один сервер обслуживает большое количество пользователей. Успешное развитие программного продукта в форме веб-приложения означает, в свою очередь, рост количества пользователей, что увеличивает нагрузку на сервер. При достижении определенного количества клиентов, одновременно

работающих с сервером, начинает увеличиваться время обработки запроса, что способствует ухудшению комфорта работы пользователей. Кроме того, как уже отмечалось выше, с течением времени происходит увеличение объема обрабатываемых корпусов текстов, что увеличивает длительность поиска релевантной информации. Обеспечение комфортной работы пользователей при большом количестве одновременно обрабатываемых событий и значительном объеме хранимых данных является сложной технической проблемой, которую необходимо решать создателям систем, работающих с корпусами текстов.

Возможны разные способы повышения производительности сервера. Во-первых, есть вариант увеличения вычислительных мощностей: вертикальное или горизонтальное масштабирование. Но вертикальное масштабирование имеет предел: тактовая частота процессора и количество ядер на процессоре ограничены, а горизонтальное масштабирование представляет собой сложную техническую задачу из-за проблем, возникающих при синхронизации серверов. Во-вторых, есть вариант оптимизации самой программы. Важно отметить, что эти варианты не взаимоисключающие: можно одновременно применять и вертикальное масштабирование, и горизонтальное масштабирование, и оптимизацию программы. Однако в первую очередь следует выполнить оптимизацию, потому что это решение проблемы – самое простое и малозатратное, а результат может оказаться более чем удовлетворительным: в некоторых сценариях время работы программы сокращается в десятки и сотни раз без увеличения расходов на поддержание инфраструктуры.

Кратко опишем основные подходы к оптимизации программы.

Прежде всего, возможна оптимизация компилятора. Например, в ставшей классической работе [1] предложен метод, используемый сейчас во многих компиляторах, который заключается в замене набора инструкций, соответствующих некоторому шаблону, на эквивалентный более эффективный набор.

Кроме того, существует много исследований, связанных с оптимизацией работы самой базы данных: язык запросов SQL является хорошим примером декларативного языка, что дает возможность производить весьма эффективную оптимизацию запросов. Основной принцип оптимизации запросов заключается в поиске самого выгодного плана из множества планов запроса в соответствии с некоторой функцией затрат. Обзор работ в этой области, выполненных в 1970-е – 1990-е годы, приведен в [2].

Если говорить о современных подходах, то можно отметить работы [3-5]. В [3] приведен набор техник по оптимизации работы приложения с базой данных: оптимизация бизнес-логики приложения, изменение структуры базы данных (таблиц и связей между ними), оптимизация логической структуры (добавление индексов), регулирование выделения памяти базе данных. В [4] была предложена схема оптимизации веб-приложений, написанных на Java EE. Прежде всего веб-приложение разделяется на слои: сетевой слой, слой кода приложения, слой хранилища данных и так далее. В каждом из них может производиться оптимизация. Далее для каждого из слоев приводится набор примеров, в которых возникают проблемы с производительностью, и их решения. Для слоя хранилища данных предлагается вариант оптимизации, когда результат действия пользователя сначала записывается в кэш, а потом асинхронно – в базу данных. Для проверки того, что оптимизация действительно была произведена, рекомендовано использование техники тестирования производительности. В [5] рассмотрены различные подходы к оптимизации, такие как перезапись запросов, индексирование и кэширование, используемые для точной настройки схем выполнения запросов с целью уменьшения потребности в ресурсоемких операциях. Кроме того, обсуждаются стратегии эффективного управления ресурсами, включая распределение памяти, оптимизацию дискового ввода-вывода и параллельную обработку.

Анализ литературы позволяет сделать вывод о том, что в общетеоретических исследованиях предлагается тот или иной набор рекомендаций, которые не дают никаких гарантий реальной оптимизации. Также имеется большое количество работ, посвященных оптимизации

ции какого-то конкретного приложения, показывающих, что каждая задача оптимизации работы с базами данных фактически индивидуальна и требует творчества при решении. Тем не менее, выводы, сделанные, при оптимизации конкретной задачи, можно экстраполировать на другие похожие задачи в виде рекомендаций. Таким образом, задача оптимизации работы веб-приложений, работающих с большими корпусами текстов требует своего решения, описанию которого и посвящена данная статья.

1. Постановка задачи

Для формализации задачи оптимизации в нашем случае будем использовать понятие оптимизации, данное в математическом программировании:

$$f(x) \rightarrow \min_{x \in X}$$

где X – допустимое множество, f – целевая функция.

Выбор функции f определяется практической целью данной работы: улучшение качества использования приложения посредством увеличения продуктивности работы пользователя в системе. Комфорт и продуктивность зависят от времени реакции системы на действие пользователя. Согласно модели оценки производительности сайта RAIL [6], при задержке реакции системы на действие пользователя более 1 секунды, он теряет концентрацию на выполняемой задаче.

Чтобы определить время реакции системы, можно использовать время выполнения запроса к серверу. Во-первых, потому, что нас интересуют только сценарии работы с базой данных, и, во-вторых, потому, что код, который выполняется в браузере, в случае исследуемой системы крайне прост, и временем его выполнения можно пренебречь. В некоторых приложениях одно действие пользователя может вызывать несколько запросов, и тогда нужно считать суммарное время их выполнения, если они выполняются последовательно, или время выполнения самого долгого запроса, но в данном приложении одно действие пользователя вызывает не более одного запроса к серверу.

Время выполнения запроса можно разложить на две составляющие: время, за которое информация о запросе доходит от клиента до сервера и обратно, и время, которое сервер обрабатывает запрос. Первая составляющая зависит от местоположения пользователя и от сети, по которой информация доходит до сервера, что мы, как разработчики, не можем контролировать. Поэтому мы будем минимизировать именно время, которое сервер обрабатывает запрос.

Итак, f – время, за которое сервер обрабатывает запрос.

Для определения допустимого множества X перечислим, от чего может зависеть f :

1. От быстродействия вычислительной машины, на которой запущен сервер. Поэтому все эксперименты будут проводиться на одном и том же компьютере.

2. От версии базы данных, языка программирования, используемых библиотек. Эти величины также не будут меняться в ходе тестирования.

3. От других программ, запущенных на вычислительной машине. Во время исследований необходимо следить, чтобы на машине не было запущено тяжелых программ, влиянием остальных программ можно пренебречь. Также для получения более точных результатов стоит брать среднее значение для серии замеров.

4. От глобального состояния – содержимого базы данных на момент выполнения запроса. Скорость выполнения запроса на чтение зависит от объема данных в базе, как и скорость записи, в частности, скорость обновления индекса данных. Чтобы нивелировать этот пункт, будем выполнять замеры до и после оптимизации с базой данных в одинаковом глобальном состоянии. Чтобы можно было пренебречь влиянием времени, за которое

информация о запросе доходит до базы данных и от базы данных обратно до сервера приложения, будем запускать базу данных на той же машине, что и приложение.

5. От входных данных. В большинстве случаев множество валидных входных данных запроса бесконечно. Чтобы свести область определения к конечному множеству, входные данные делят на классы эквивалентности относительно какого-либо признака. В рамках данного исследования мы будем фиксировать входные данные в рамках каждой задачи по оптимизации.

6. От реализации алгоритма. Реализация алгоритма должна соответствовать функциональным требованиям к программе.

В нашем исследовании мы работаем только со слоем данных. Это значит, что накладывается дополнительное ограничение на множество X . Допустим, ϕ – существующая реализация алгоритма. Тогда допустимое множество

$$X' = \{\phi + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \mid \delta_1 \in \Delta_1, \delta_2 \in \Delta_2, \delta_3 \in \Delta_3\},$$

где:

- 1) $+$ – операция применения изменения;
- 2) Δ_1 – множество изменений исходного кода программы в функции, в которой он взаимодействует с базой данных: изменение способа взаимодействия;
- 3) Δ_2 – множество изменений структуры запроса к базе данных;
- 4) Δ_3 – множество изменений структуры самой базы данных.

Сформулируем критерий успешной оптимизации, используя X' :

$$f(x) < b, x \in X'$$

где f – время обработки сервером запроса, b – ограничение, определяемое нефункциональными требованиями к программе, обычно 1 секунда.

Таким образом, оптимизации подлежит действие пользователя в системе, реакция на которое превышает одну секунду.

Кроме того, важно проследить, чтобы после проведения оптимизации одной задачи другие задачи не перестали удовлетворять критерию. Такое может возникнуть, например, при добавлении индекса в базу данных: задача, связанная с получением данных, может стать оптимизированной, но задача записи данных может потерять это свойство.

2. Алгоритм решения задачи

Далее мы сформулируем общий порядок действий для оптимизации времени обработки запроса и выберем инструменты, которые будем для этого использовать.

Разумеется, данный этап напрямую зависит от конкретных технологических решений, использованных при создании хранилища данных и работающего с ними веб-приложения. Руководствуясь известным принципом, сформулированным Д. Кнудом: «Преждевременная оптимизация — это корень всех бед» [7], – опишем алгоритм оптимизации применительно к хранилищу программной системы обработки корпусов текстовых документов, созданной по технологии, изложенной в [8], с учетом модификации, описанной в [9]. Для экспериментов мы будем использовать базу данных, содержащую корпус поэтических текстов, поскольку она, ввиду наличия многочисленных метаданных, описывающих метроритмические, стро-фические и т.п. характеристики поэтического текста, обладает более сложной структурой, чем база данных, содержащая обычные тексты, что повышает вероятность отсутствия проблем при экстраполяции алгоритма «от сложного к простому».

Технологии, использованные для создания оптимизируемой программной системы, таковы: приложение написано на языке программирования Python [10] с использованием

веб-фреймворка Flask [11], работа с базой данных осуществляется посредством библиотеки SQLAlchemy [12], а в качестве СУБД выбрана PostgreSQL [13].

При проведении оптимизации необходимо сохранить выполнение функциональных требований к программе и добиться улучшения нефункциональных, то есть, в нашем случае, скорости обработки запроса.

Функциональные требования должны быть зафиксированы в автоматических тестах, которые создаются в процессе разработки. Мы будем писать тесты на проверку функциональности тех запросов, которые мы оптимизируем, используя для тестирования библиотеку `pytest` [14].

Требования к оптимизации мы будем фиксировать в тестах на производительность, используя для вычисления времени обработки запроса функции модуля `time` из стандартной библиотеки.

Если обработка действия пользователя занимает слишком много времени, необходимо локализовать проблему и выяснить, связана ли она с работой с базой данных.

Будем использовать для этого инструмент профилирования `werkzeug.middleware.profiler.ProfilerMiddleware` [15], который выполняет профилирование каждого запроса с использованием модуля `sProfile` и сохраняет результат в файл. Для визуализации результатов профилирования использована библиотека `snakeviz` [16].

После определения функции, работающей с базой данных, которая требует большого количества времени, проводится более точная локализация критического фрагмента при помощи техники строчного профилирования с использованием инструмента `line_profiler` [18].

Когда причина медленной обработки запросов установлена, можно приступить к решению проблемы. Безусловно, решение в каждом конкретном случае индивидуально. Тем не менее, основываясь на рассмотренных выше исследованиях, можно выделить несколько типовых ситуаций и решений при работе с базой данных. Они приведены в таблице 1.

Табл. 1. Сопоставление типовых ситуаций и решений для них при оптимизации работы с БД

Ситуация	Решение
Долгое выполнение какого-либо из этапов запроса на получение данных	Изменение структуры запроса, добавление индекса
Долгое выполнение какого-либо из этапов запроса на изменение данных	Изменение структуры запроса, удаление индекса
Большое количество запросов в цикле	Замена запросов в цикле на эквивалентный запрос вне цикла

Перед изменением структуры запроса или логической структуры базы данных нужно изучить план запроса, чтобы понять, какой из этапов запроса занимает основное количество времени. Для изучения планов запросов будем использовать программу `pgAdmin`. После выполнения оптимизации необходимо убедиться в успешном прохождении всех тестов.

3. Численные расчеты

Применим разработанную методику для улучшения времени реакции системы работы с корпусом поэтических текстов на некоторые действия пользователя. Для тестов используется отдельная база данных. Перед каждым тестом все записи из базы данных удаляются. Для тестирования запросов создан тестовый клиент, который не использует реальный веб-сервер, а сразу вызывает функцию-обработчик запроса.

Подробно опишем процесс оптимизации на примере оптимизации запроса на получение веб-страницы с алфавитным указателем списка словоупотреблений в текстах каждого автора.

В результате профилирования видим (рис. 1), что запрос выполнялся более одной секунды. Также из результата профилирование видно, что основное время мы потратили на работу с базой данных.



Рис. 1. Профилирование запроса на получение страницы с алфавитным указателем

Данные, приведенные на странице, формируются на основании достаточно сложного запроса, который создается при помощи библиотеки SQLAlchemy в функции `get_base_words_by_author_and_letter`.

Этот запрос выполняется один раз и занимает больше секунды. Для проведения оптимизации изучим план запроса (рис. 2).

#	Node	Timings	
		Exclusive	Inclusive
1.	→ Nested Loop Inner Join (cost=66126.02..67791.79 rows=74 width=264) (actual=609.26..1935.685 rows=... Join Filter: (((string_agg(("DICTIONARY_1"."WORD")::text, ""::text ORDER BY "POEM_LINES_TO_DICT_1"."ID") ~~~* ((1742.597 ms	1935.685 ms
2.	→ Unique (cost=21833.45..21954.67 rows=998 width=52) (actual=190.762..192.406 rows=680 loops=1)	0.617 ms	192.406 ms
3.	→ Gather Merge (cost=21833.45..21949.68 rows=998 width=52) (actual=190.762..191.79 rows=7...)	32.241 ms	191.79 ms
4.	→ Sort (cost=20833.43..20834.47 rows=416 width=52) (actual=159.477..159.549 rows=257 l...)	0.277 ms	159.549 ms

Рис. 2. Фрагмент плана запроса до оптимизации

Видно, что основное время при выполнении запроса потрачено на операцию объединения отношений в самом конце. Сам критерий для объединения сформулирован как условие из трех OR с оператором `ILIKE`: для случая, когда слово встречается в начале, в середине или в конце строки стихотворения.

Выполнение оператора `ILIKE` для каждого из слов – затратная операция, поэтому объединение занимает много времени. Можно упростить эту операцию, если вычислять переменную `BASE_TEXT` не как строку, а как массив, и проверять слово на вхождение в этот массив при помощи оператора `=` и функции `ANY` (рис.3).

1.	→ Nested Loop Inner Join (cost=66126.02..67766.84 rows=244 width=264) (actual=594.723..782.797 rows=... Join Filter: (("DICTIONARY"."WORD")::text = ANY ((array_agg("DICTIONARY_1"."WORD")))::text[]))	638.75 ms	782.797 ms
2.	→ Unique (cost=21833.45..21954.67 rows=998 width=890) (actual=142.183..143.303 rows=663 loops=1)	0.348 ms	143.303 ms
3.	→ Gather Merge (cost=21833.45..21949.68 rows=998 width=890) (actual=142.181..142.956 rows=...)	7.17 ms	142.956 ms
4.	→ Sort (cost=20833.43..20834.47 rows=416 width=890) (actual=135.744..135.786 rows=252 l...)	0.278 ms	135.786 ms
5.	→ Hash Inner Join (cost=2733.36..20815.33 rows=416 width=890) (actual=114.304..135... Hash Cond: ("POEM_LINES_1"."POEM_ID" = "POEM_1"."ID"))	1.353 ms	135.508 ms

Рис. 3. Фрагмент плана запроса после первого этапа попытки оптимизации

Анализ запроса показывает, что он составлен слишком сложно, поэтому его можно переписать: в базе данных имеется таблица POEM_LINES_TO_DICT, используя которую, можно получить слова, встречающиеся в строке стихотворения без сравнения строковых типов данных. Новый запрос требует намного меньше времени (рис. 4).

#	Node	Timings		Rows			Loops
		Exclusive	Inclusive	Rows X	Actual	Plan	
1.	→ Gather Merge (cost=21833.45..21930.52 rows=832 width=232) (actual=15...)	8.428 ms	161.144 ms	↑ 1.11	755	832	1
2.	→ Sort (cost=20833.43..20834.47 rows=416 width=232) (actual=152.68...)	0.303 ms	152.716 ms	↑ 1.66	252	416	3
3.	→ Hash Inner Join (cost=2733.36..20815.33 rows=416 width=232) (... Hash Cond: ("POEM_LINES"."POEM_ID" = "POEM"."ID"))	1.619 ms	152.413 ms	↑ 0.56	252	416	3
4.	→ Nested Loop Inner Join (cost=2453.48..20501.64 rows=128...)	36.351 ms	149.213 ms	↑ 0.51	8559	12878	3
5.	→ Hash Inner Join (cost=2453.06..14464.76 rows=12878 ... Hash Cond: ("POEM_LINES_TO_DICT"."DICT_ID" = "DICTIONAR..."))	92.765 ms	112.86 ms	↑ 0.51	8559	12878	3
6.	→ Seq Scan on POEM_LINES_TO_DICT as POEM_LIN...	13.565 ms	13.565 ms	↑ 0.42	340003	425003	3

Рис. 4. Фрагмент плана запроса после второго этапа оптимизации

Однако можно добиться еще более эффективных показателей. Из плана запроса видно, что основная часть времени тратится на объединение отношений DICTIONARY и POEM_LINES_TO_DICT (5-я строка), а перед этим операция последовательного чтения трижды возвращает по 340003 записи таблицы POEM_LINES_TO_DICT, т.е. все имеющиеся в таблице записи. Чтобы сократить выполнение операции, добавим стандартный индекс по-ля LINE_ID в таблице POEM_LINES_TO_DICT, тогда для получения данных из таблицы POEM_LINES_TO_DICT можно будет воспользоваться индексом поля LINE_ID и не считывать с диска все данные таблицы для поиска релевантных (рис. 5).

#	Node	Timings		Rows			Loops
		Exclusive	Inclusive	Rows X	Actual	Plan	
1.	→ Gather Merge (cost=14388.37..14485.44 rows=832 width=232) (actual=48.88...)	6.378 ms	51.834 ms	↑ 1.11	755	832	1
2.	→ Sort (cost=13388.34..13389.38 rows=416 width=232) (actual=45.42..45...)	0.31 ms	45.456 ms	↑ 1.66	252	416	3
3.	→ Hash Inner Join (cost=2733.36..13370.24 rows=416 width=232) (act... Hash Cond: ("POEM_LINES_TO_DICT"."DICT_ID" = "DICTIONARY"."ID"))	1.498 ms	45.147 ms	↑ 0.56	252	416	3
4.	→ Nested Loop Inner Join (cost=280.3..10881.16 rows=13722 wid...)	7.088 ms	37.176 ms	↑ 0.46	10000	13722	3
5.	→ Hash Inner Join (cost=279.88..8790.35 rows=2942 width=... Hash Cond: ("POEM_LINES"."POEM_ID" = "POEM"."ID"))	24.533 ms	30.088 ms	↑ 0.47	2100	2942	3
6.	→ Seq Scan on POEM_LINES as POEM_LINES (cost=0..8...)	4.117 ms	4.117 ms	↑ 0.43	71400	91119	3
7.	→ Hash (cost=275.75..275.75 rows=330 width=73) (actu... Buckets: 1024 Batches: 1 Memory Usage: 40 kB)	0.98 ms	1.438 ms	↑ 0.37	300	330	3
8.	→ Seq Scan on POEM as POEM (cost=0..275.75 row... Filter: ("AUTHOR_ID" = '27'::smallint) Rows Removed by Filter: 9900)	0.458 ms	0.458 ms	↑ 0.37	300	330	3
9.	→ Index Scan using POEM_LINES_TO_DICT_LINE_ID_idx on P... Index Cond: ("LINE_ID" = "POEM_LINES"."ID"))	0.001 ms	0.001 ms	↑ 0.34	5	5	6300

Рис. 5. План запроса после третьего этапа оптимизации

Используя профилирование, убедимся в увеличении скорости работы приложения после трех этапов оптимизации (рис.6).

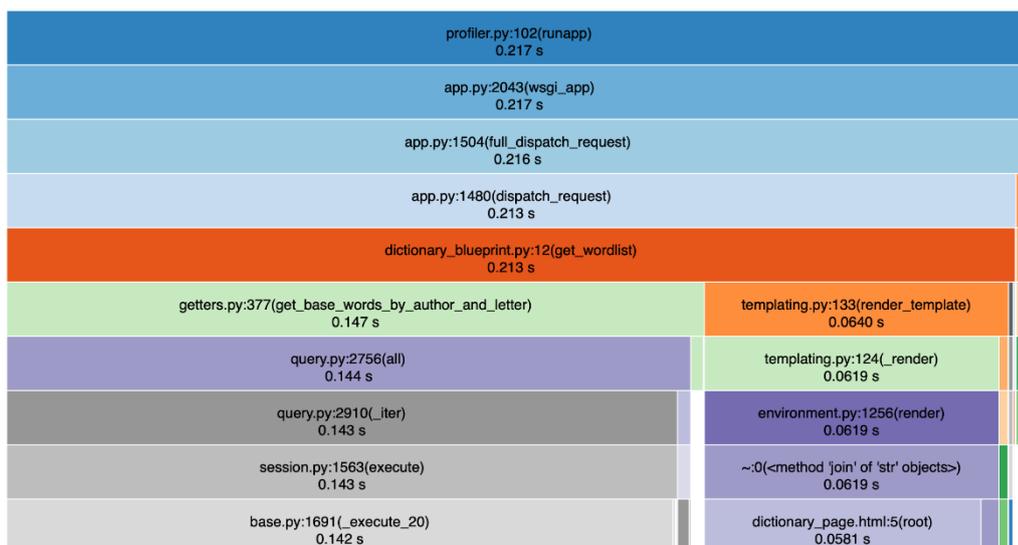


Рис. 6. Профилирование оптимизированного запроса на получение страницы с алфавитным указателем

Аналогичным образом были оптимизированы и другие запросы, в частности запрос на загрузку в базу данных поэтического текста. Если до оптимизации, заключающейся в экви-валентном преобразовании запроса с вынесением за пределы цикла подзапроса для установления связи между словом и содержащей его строкой, время порядка 1 секунды требовалось для загрузки поэтического текста объемом около 100 строк, то после оптимизации за такое же время стала возможна загрузка текста объемом около 1000 строк.

4. Заключение

В статье проведена формализация задачи оптимизации работы с базой данных, содержащей корпус текстов, сформулирована общая стратегия оптимизации запросов и изложены конкретные примеры ее реализации, доказывающие высокую эффективность предложенной методики оптимизации.

Дальнейшие исследования могут заключаться в поиске новых сценариев для оптимизации, а также в разработке более строго подхода к функциональному и нефункциональному тестированию приложений для повышения корректности полученных результатов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта МНВО РК (код проекта BR21882268).

Список литературы

1. McKeeman W.M. Peephole optimization // Communications of the ACM. – 1965. – Vol. 8. – No 7. – P. 443-444.
2. Chaudhuri S. An overview of query optimization in relational systems // Proceedings of the ACM Symposium on Principles of Database Systems. – 1998. – P. 34–43.
3. Zhang Jiangang. Research on database application performance optimization method // 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer (MMBEC 2016). – 2016. – P. 2236-2239.
4. Cai Zengyu, Li Jingxiao, Zhang Jianwei. Research on performance optimization of web application system based on JAVA EE // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol.1437. – Art.012039.

5. Basavegowda Ramu V. Optimizing database performance: strategies for efficient query execution and resource utilization // International Journal of Computer Trends and Technology. – 2023. – Vol. 71. – No 7. – P. 15-21.
6. Measure performance with RAIL model. – URL: https://web.dev/articles/rail#response_respond_in_under_100ms
7. Knuth D.E. Structured programming with go to statements // ACM Computing Surveys. – 1974. – Vol. 6. – No 4. – P. 261-301.
8. Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Yu., Mukhamediev R.I., Borzilova Yu.S., Yakunin K.O. The design of the structure of the software system for processing text document corpus // Business Informatics. – 2019. – Vol.13. – No 4. – P. 60–72.
9. Barakhnin V., Kozhemyakina O., Revun A., Shashok N. Technological features of cross-language migration from PHP to Python of software products working with intensive data // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3036. – P. 411-421.
10. Официальный сайт языка программирования Python. – URL: <https://www.python.org/>
11. Официальный сайт фреймворка для разработки веб приложений Flask. – URL: <https://flask.palletsprojects.com/>
12. Официальный сайт библиотеки для работы с базами данных SQLAlchemy. – URL: <https://www.sqlalchemy.org/>
13. Официальный сайт СУБД PostgreSQL. – URL: <https://www.postgresql.org/>
14. Документация библиотеки pytest. – URL: <https://docs.pytest.org/en/7.2.x/>
15. Документация класса werkzeug.middleware.profiler.ProfilerMiddleware. – URL: <https://werkzeug.palletsprojects.com/en/1.0.x/middleware/profiler/>
16. Официальный сайт библиотеки для визуализации результатов профилирования snakeviz. – URL: <https://jiffyclub.github.io/snakeviz/>
17. GitHub-репозиторий библиотеки для строчного профилирования line_profiler. – URL: https://github.com/pyutils/line_profiler

Владимир Борисович Барахнин – д.т.н., доцент, в.н.с. Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, в.н.с. Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий;

630090, Новосибирск; e-mail: bar@ict.nsc.ru;

Матвей Владимирович Карпов – магистрант Новосибирского государственного университета;

630090, Новосибирск; e-mail: m.karpov@g.nsu.ru;

Елена Павловна Мачикина – к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. Федерального исследовательского центра

информационных и вычислительных технологий, доцент Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики;

630009, Новосибирск; e-mail: machikina@sibgu.ru;

Рустам Рафикович Мусабаев – к.т.н., зав.лаб. Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева,

зав.лаб. Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050000, Казахстан, Алматы; e-mail: rmusab@gmail.com

БАЛАЛАРҒА АРНАЛҒАН АРНАЙЫ ЛОГОПЕДИЯЛЫҚ ОҚЫТУ ЖҮЙЕНІҢ ӘЗІРЛЕУ АРХИТЕКТУРАСЫ

Д.Р. Рахимова^{1,2}, Р.Р. Галимова³ Ә.Т. Тұрарбек^{1,2}, Д.Е. Давлетов², М. Бикен²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан

³Түзеу үлгісіндегі сөйлеу мүмкіндіктері шектеулі балаларға арналған

№ 54 бөбекжай-балабақшасы, Алматы, Қазақстан

УДК 004.9

Аңдатпа. Қазіргі уақытта балалардың сөйлеу қабілетінің нашарлауы қоғамдағы күрделі мәселеге айналды. Көптеген қосымшалармен деректер орыс немесе басқа тілдерге бейімделген. Қазақ тілі үшін арнайы мамандырылған жүйелердің жетіспеушілігі байқалады. Зерттеудің мақсаты – баланың дамуында қол жеткізуге ықпал ететін жаңа технологияларды пайдалана отырып, сөйлеуді түзету саласында ақпараттық жүйені құру болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін қазақ тіліндегі жаңа логопедиялық қосымша әзірлеу. Бұл жұмыс логопедия саласындағы жаңа педагогикалық жүйені автоматтандыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: қазақ тілі, логопедия, мобильді қосымша, архитектура.

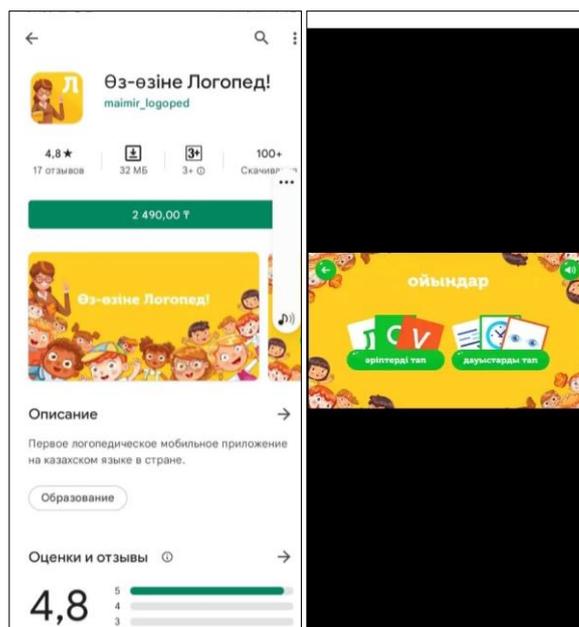
Кіріспе

Педагогикалық оқыту саласында айтарлықтай технологиялық жаңашылдық Қазақстанға жете қоймады. Өзімізге мәлім, қазірге дейін дәстүрлі оқу әдісі пайдаланылады. Ал ерекше балалармен жұмыс барысындағы ақпараттық жүйе мен технологиялардың жағдайы айтпасақта белгілі. ТМД елдері арасында логопедия саласына арналған оқыту жүйелері көп. Оның ішінде арнайы мамандардың оқу курстарынан бастап, жәй ғана ойын арқылы бала тілін жаттықтыруға арналған ойындар қосымшалары. Бұл қосымшалардың біздің салт-санамызға сәйкес келмеуінің алғашқы айқын себебі орыс тілінде болуы. Ұлт пен ұлыстың қамын ойласақ баланың кеш дамыған тілінің өзін қазақ тілінде шығаруымыз ел алдындағы парыз емес пе?! Тағы бір кемшіл тұсы ақпараттың толық ашылмауы және қолданушыға көп жағдайда қолжетімсіздігі болып отыр. Енді қазақ аудиториясындағы қосымшалар мен құралдарға анализ жасайтын болсақ, Android жүйесіне арналған жалғыз ғана қосымша таба алдым. Оның өзі 1-суретте көрсетілгендей арнайы логопед маманның курсына арналған Майра Болатбекқызының тапсырысымен жасалған ақылы қосымша болып шықты [5].

Қосымша біріншіден, ақылы болғандықтан көп адамға қолжетімсіз. Екіншіден, екі бөлімнен ғана тұрады, олар – ойындар және видео, аудио сабақтар. Қосымшаның сипаттамасына қарағанда үй жағдайында баланың он-лайн түрде дайындығын қамтамасыз етеді. Баланың тек маманмен жұмысы толық нәтижеге кепілдік бермесі анық. Бергеннің өзінде ұзақ уақыттық еңбекті талап етеді.

Бұдан бөлек, 2-суретте көрсетілгендей қазақ тіліндегі балаларға сөздерді айтып үйретуге арналған ойындар топтамалары бар [6].

Технология қарыштап дамыған заманда кез келген ақпараттың тез әрі сапалы, қолжетімді жеткізудің жолын қарастыруымыз шарт. Орыс тілінде ақпарат қарапайым халыққа қай заманнан да қолжетімді болып келеді. Оның айқын дәлелі, осы логопедия саласынан орын алып отыр. Қазақ аудиториясына арналған ресурсқа бай дүниелер ойлап табу керекпіз.



1-сурет. «Өз-өзіне Логопед!» ең алғашқы қазақ тіліндегі қосымша



2-сурет. «Қазақша сөздер балаларға» Android қосымшасы

Қолдануға ыңғайлы жасалғанымен, дизайны мен қамтитын ақпараттық ресурсы аз екені көрініп-ақ тұр. Логопедия саласында айтарлықтай бәсекелестіктің жоқ екеніне осы екі қосымша дәлел. Ендігі мақсат логопедия саласында ақпараттық жүйе мен технологияны дамыту. Балаларға арналған қазақ тілінде жаңа заман ақпараты көбейген сайын қазақ тілінің мазмұнының кеңеюіне үлес қосар едік.

Талдау нәтижесін қорытындыласақ, ағылшын тілді бағдарламаларға қарағанда орыс тілді аудиторияға арналған мобильді қосымшалар қатары қарқынды дамыған. Кез келген форматта тегін немесе ақылы түрде жүктеуге болады. Ағылшын тіліндегі қосымшалар жүйелендірілген яғни аудиториясы нақты, ұсынатын ақпараты анық және интерфейсі ыңғайлы ойластырылған. Ал орыс тілінде құрылған қосымшаларда жүйесіз жасалған, қолдануға ыңғайсыз, қамтитын ақпарат ауқымы тар қосымшаларды көп кездестірдім. Кері байланыс функциясы қарастырылған қосымша міндетті түрде ақылы негізде ұсынылады. Сонымен қатар, мобильді қосымшаны байқап көру үшін, бастапқы деңгейлерін тегін қолжетімді етіп, қалған ең керек деген ақпараттар мен функцияларды ақылы түрде жасаған.

Егер қосымша толық тегін әрі маманмен кері байланысы болса, ол маманның қызметін сатуына негізделген болып табылады. Бұл талданған ақпараттарды қазақ аудиториясына жаңа мобильді қосымша құру есебінде басты назарға алу керек.

1. Құрылатын ақпараттық жүйенің қойылатын есебі

Логопедия саласын зерттеп, сұраныс көлемін анықтап, осы саладағы ақпараттық жүйелерге анализ жасай келе, төмендегідей кемшіліктерін байқаймыз:

–логопед маманның көмегіне жүгінетін сөйлеу қабілетінде ауытқуы бар балалар саны жылдан жылға артып келеді;

–қазақ аудиториясына арналған ақпарат жоқтың қасы;

–логопедия саласында құрылған қазақ тілді жалғыз ғана мобильді қосымша бар;

–қарапайым халыққа қолжетімсіз және Android жүйесіне арналаған мо-бильді қосымша ақылы негізде жасалған;

–қосымшаның деректер көзі өте аз және балаларға арналған ресурс көлемін кеңейту керек;

–қосымшаның интерфейсі балаларға қызықсыз құрылған (бұл қызы-ғушылықтың яғни сұраныстың төмендеуіне алып келеді);

–мобильді қосымшаның бағдарламасында психологиялық ерекшелік пен баланың жасы ескерілмеген;

–қандай да бір техникалық қиындықтар мен сұрақтарға жауап беретін кері байланыс қарастырылмаған.

Осы аталған кемшіліктерді негізге ала отырып, сөйлеу қабілетінде ауытқуы бар балаларға арналған ақпараттық жүйенің мақсатты есебін құратын боламыз. Қазіргі таңда қолданылып жүрген ақпараттық технология нәтижелерін әлемдік нарықпен салыстыра отырып, талдау жасадық. Сол жұмыстың қорытындысымен құрылған ақпараттық жүйенің негізін жасай аламыз. Бұл талдау жұмысы жаңа ақпараттық жүйенің бәсекеге қабілеттілік және пайдаланушы сұранысын қамтамасыз етеді.

2. Сөйлеу қабілеті бұзылған балаларға арналған қазақ тілін оқыту жүйесін функционалды модельдеу

Білім беру саласында тұтынушы тарапқа ақпаратты жеңіл әрі ыңғайлы түрде қолжетімді ету үшін түрлі құралдарды пайдалануға болады. Біздің саламызда да сөйлеу қабілеті бұзылған балаларға қазақ тілін оқыту жүйесін құру үшін алдымен оның артықшылықтары мен кемшіліктерін талдау нәтижесінде жүйенің жаңа есебін тағайындадық. Ендігі кезек, қойылған есепті сала бойынша құрылатын ақпараттық жүйені әзірлеу үшін модельін құрастыру керек. Ол үшін жүйенің сыртқы құрылымына функционалды моделді пайдаланамыз. Ұйымның функционалды моделі (ҰФМ) – бұл ұйымның функционалды қабілеттерін көрсететін және оның нақты құрылымы туралы жеңілдетілген түсінік беретін элементтер жүйесі [14].

Қазіргі уақытта компьютерлік технологиялар нарығында жүйені тестілеуге және модельдеуге мүмкіндік беретін бірқатар мамандандырылған бағдарламалар бар. Модельдеудің мақсаты – алынған ақпаратты аналитикалық өндеуге ыңғайлы визуалды графикалық түрде компания және оның бизнес-процестері туралы білімді жүйелеу.

3-суретте көрсетілгендей балаларға арналған оқыту жүйесін әзірлеудің негізгі жұмысын бес кіші тапсырмаға бөлуге болады:

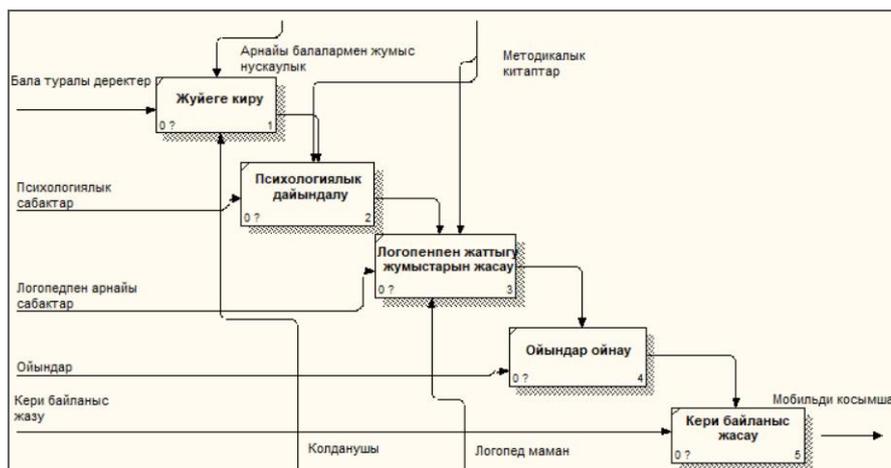
- жүйеге кіру;

- психологиялық дайындалу;

- логопедпен арнайы жұмыс жасау;

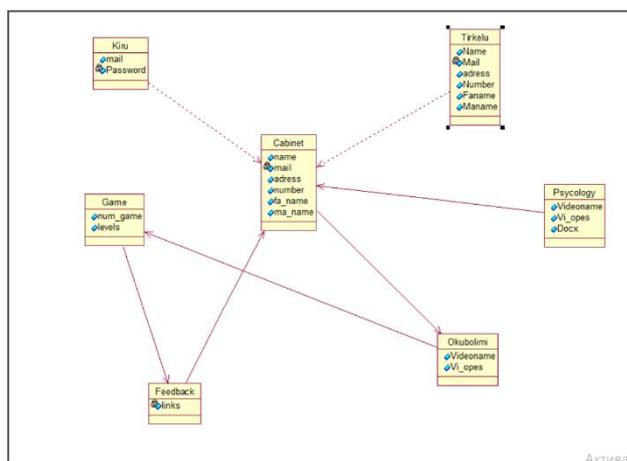
- ойындар ойнау;

- кері байланыс жасау.



3-сурет. Балаларға арналған оқыту жүйесін әзірлеу процесінің IDEF0 AS-IS моделі. А0 блогының декомпозициялануы

Құрылатын ақпараттық жүйеде жеті класс құрылады. Олар: Kiru, Cabinet, Feedback, Okubolimi, Psycology, Game және Tirkrlu. Бұл класстар интерфейстегі бөлімдердің құрылуы барысында қажетті болып табылады. Жүйедегі класстар диаграммасын 8-суреттегідей құратын боламыз.



4-сурет. Ақпараттық жүйенің пайдаланушы бөлігінің класстар диаграммасы

Әр класстың жеке атрибуттары бар. Мысалы, Cabinet классының атрибуттары ретінде name, mail, adress, number, fa_name, ma_name тағайындалды. Атрибуттарына пайдаланушының мәлеметтері меншктеледі. Бұл класстың көмегімен пайдаланушы тіркеледі, баланың жеке анкетасы қалыптасады және ДҚ сақталады.

Класстар бір-бірімен тығыз байланысты. Олардың арасындағы байланыстарға тәуелділік пен ассоциация байланыс түрін пайдаландым. Тәуелділік байланысында Cabinet классы Kiru, Tirkrlu класстарына тәуелді болып келеді. Қалған класстардың байланысы тәуелсіз объект алмаса алатындай етіп ассоциация арқылы байланысады.

3. АЖ интерфейсі және нәтижелер

Жалпы ақпараттық жүйе Android жүйелеріне арналған мобильді қосымша ретінде құрылады. Қосымшаның мәзірі төмендегідей тәртіппен құрастырылатын болады:

- ✓ кіру және тіркелу бөлімі;
- ✓ баланың жеке кәбинеті;
- ✓ арнайы сабақтар;

- ✓ логопедпен жұмыс;
- ✓ ойын бөлімі;
- ✓ кері байланыс бөлімі.

Сөйлеу қабілеті бұзылған балаларға арналған ақпараттық жүйені Android операциялық жүйесіне арналған мобильді қосымша ретінде құрылды. Android операциялық жүйесі ең көп қолданыста болғандықтан, осы жүйеге арналған мобильді қосымшаны құратын боламыз. Қосымша Android Studio 2021.1 ортасында Java бағдарламалау тілі негізінде .apk кеңейтімі бар файлға құрас-тырылады, содан кейін бұл файл қосымшаны Android жұмыс істейтін құрылғы-ларға орнату үшін қолданылады.

Бейне материалдармен жұмыс істеу үшін Android виджеттерінің стандартты жиынтығында бейнені ойнатуға мүмкіндік беретін бейне шолу класы анықталған. Бейнені қарау мобильді құрылғыда орналастырылған роликтермен де, желідегі бейне материалдармен де жұмыс істей алады. Бұл жағдайда біз жергілікті орналастырылған бейнені қолданамыз. Әдетте бейнематериалдар жобада RES/raw қалтасына орналастырылады. Ол үшін res файлын және пайда болған мәзірден Жаңа - > Android ресурстар каталогын таңдау арқылы құрамыз. Бұл бейне материалды қосудың бір жолы болып табылады.

Осылай бейне материалдарды пайдалана отырып, 6-суретте жаңа бөлім логопед маманмен арнайы сабақтарды көре аламыз.



5-сурет. Логопедпен жұмыс бөлімі. Арнайы бейне сабақтар

Осы бөлімдегі видео форматтағы файлдарды алдын ала деректер қорына жүктеп, сілтеме арқылы қолданамыз. Сілтеме арқылы қолдану ыңғайлы, уақытты және жады көлемін үнемдеуге көмектеседі. PutBytes() әдісі – файлды деректер қорына жүктеудің ең тиімді жолы. PutBytes() byte[] қабылдайды және жүктеу күйін басқару және бақылау үшін пайдалануға болатын UploadTask қайтарады. PutBytes() byte[] қабылдағандықтан, бағдарлама файлдың барлық мазмұнын бір уақытта жадта сақтауды талап етеді. Жадты аз пайдалану үшін putStream() немесе putFile() қолдануды қарастырған жөн.

Firestore деректер қорында «Файлдарға» өтіп, әнді жүктейміз. Әнді қосымамен байланыстыру үшін бізге URL мекен-жайы қажет. Ән файлының оң жақ шетін шертіп, URL

мекенжайын көшіреміз. Сілтемені басқаннан кейін ол автоматты түрде көшіріледі. Ән деректер қорында болғандықтан қосымшаға оны ойнау үшін интернет қажет. Ең алдымен, манифест файлына өтіп, оған сілтемені қоямыз. Oncreate() әдісіндегі айнымалыларды анықтаймыз. Осыдан кейін onCreate() әдісінде Media player данасын жасау керек.



6-сурет. Қосымшадағы ойын бөлімі және ойындарды таңдау беті

4. Қорытынды

Жұмыстың мақсаты – көп жағдайда қолжетімді болмайтын қажетті ақпараттарды алу, сөйлеу қабілеті бұзылған балаларға арналған қазақ тілін оқыту жүйесін тұрғызу және осы салада жаңа педагогикалық жүйені автоматтандыру болды. Осы мақсатқа жету жолында төмендегідей қойылған тапсырмалар орындалды:

- берілген жоба бойынша қажетті материалдарды жинақталды;
- сала бойынша бәсекелестер жайлы ақпарат жинақтып, әлемдік және еліміз деңгейінде талдау жасалды;
- оқыту базасын енгізу жүйесін автоматтандыруды моделін құрастыр-тырылды;
- құрылатын жүйенің ерекшелігін сараптап, бағдарлама құруға арналған есептерін құрастырырылды
- FIREBASE МҚБЖ пайдаланып сұраныстар жасадым және керек мәліметтер қоры ұйымдастырылды;
- қосымшаны Android Studio 2021.1 мүмкіншіліктерін пайдаланып әзірленді;

Сөйлеу қабілеті бұзылған балалардың ата-аналарына психологиялық дайындық реті, баламен қалай жұмыс жасағанда нәтижелі болатындығы, қосымша тағы да көптеген психологиялық білімдер және осы мобильді қосымшаны нәтижелі пайдалануға нұсқаулық ретінде сабақтар қарастырылған.

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің IRN AP 19577833 жобасының аясында орындалды және қаржыландырылды.

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

1. В Казахстане детей с речевыми проблемами становится все больше [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://astanatv.kz/ru/news/51629/>

2. Дербисалова Г. С. Мультимедийные презентации как средство активизации познавательной деятельности младших школьников с нарушением интеллекта // наука и перспективы. – 2019. – №. 3. – С. 52-58.
3. Васильева В. С. Основные положения теории ре лвиной в современных научных исследованиях // Студенческий электронный журнал СтРИЖ. – 2021. – №. 2-2. – С. 88-90.
4. «Логопедические упражнения. Сборник» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.OlMal.LogopedUprSbornik>
5. «Өз-өзіне Логопед!» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=kz.logoped>
6. «Қазақша сөздер балаларға» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.emb-arcad-ero.Themecards2>
7. «Домашний логопед» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.logoped>
8. «ЛОГОПЕДИЯ» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.logopediya.logopediya174>
9. «Развитие речи у детей» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.funfox.inapp>
10. «Speech Blubs: Language Therapy» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org-blubblub.app.speechblubs>
11. «Speech Therapy: Practice S» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.speechtx-jennifer.soundpractice>
12. «Therapy for Autism Speech & Learning Disabilities» мобильді қосымшасы [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.metanoa>
13. Қазақстан Республикасының Заңы 2015 жылғы 24 қарашадағы № 418-V ҚРЗ. «Ақпараттандыру заңы» [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1500000418>
14. Рятков К. Секреты развития: как, чередуя инновации и системные изменения, развивать лидерство и управление. – М.: Альпина Паблишер. – 2017. – С. 180.
15. Петзолд Ч. Программирование для Windows 95. – СПб.: ВHV-Санк-Петербург. – 2018. – С. 197.
16. DEF0. Знакомство с нотацией и пример использования [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://trinion.org/blog/idef0-znakomstvo-s-notaciy-i-primer-ispolzovaniya>
17. OMG Unified Modeling Language Specification [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://www.omg.org/>

Рахимова Диана Рамазановна – PhD. Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, 050040 Алматы қ., Қазақстан; e-mail: e-mail:drakhimova060@gmail.com

Галимова Рашида Рамисовна –Түзеу үлгісіндегі сөйлеу мүмкіндіктері шектеулі балаларға арналған № 54 бөбекжай-балабақшасының меңгерушісі, 050000 Алматы қ., Қазақстан

Тұрарбек Әсем Тұрарбекқызы- к.ғ.қ Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,

050040 Алматы қ., Қазақстан; e-mail: turarbekasem1@gmail.com
Давлетов Даурен Ерикович – бағдарламаушы, Ақпараттық және есептеуіш
технологиялар институты.

050040 Алматы қ., Қазақстан; e-mail: dau21@mail.ru
Бикен Мөлдір – к.ғ.қ. Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты
050040 Алматы қ., Қазақстан; e-mail: toka@mail.ru

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЗАҢНАМАСЫ САЛАСЫНДАҒЫ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Д.Р. Рахимова, А.Т. Турарбек

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

УДК 004.9

***Аңдатпа.** Зерттеу объектісі пайдаланушыларға берілген пәндік сала бойынша сұрақтардың кең ауқымына жауап беретін сұрақ-жауап жүйелері болып табылады. Зерттеудің мақсаты – заңнама саласындағы сұрақ-жауап жүйелерінің негізгі мәселері мен даму тенденцияларын анықтау. Автоматты сұрақ-жауап – бұл жасанды интеллект пен табиғи тілді өңдеудегі зерттеулер нүктесі. Ол бастапқыда адамдардың ақпаратты тез және дәл алу қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жасалған. Соңғы жылдары ол жемісті нәтижелер берді, бірақ тиісті бұрынғы шолулар жаңа зерттеу нәтижелерін қамтымайды немесе бүкіл сұрақ-жауап іздеу жүйесін жалпыламайтын немесе талдамайтын бір салаға назар аудармайды.*

***Кілт сөздер:** сұрақ-жауап жүйесі, анықтамалық жүйе, сұрақ-жауап іздеу жүйесі, сұрақ-жауап жүйесін құру әдістері, бағдарламалық қамтамасыз ету.*

Кіріспе

Зерттеу жұмысында сұрақ-жауап жүйесін әзірлеу әдістері қарастырылады. Сұрақ-жауап жүйесі (ағылшыннан Question-answering system) – сұрақтарды табиғи тілде қабылдауға және оларға жауап беруге қабілетті ақпараттық жүйе, басқаша айтқанда, бұл табиғи-тілдік интерфейсі бар жүйе [1]. Сапалы сұрақ-жауап жүйесін құру және оған еркін қол жеткізуді қамтамасыз ету мәтіннің үлкен көлемінде қажетті ақпаратты іздеуге кететін уақытты едәуір қысқартады. Әзірленген сұрақ-жауап жүйелерінің көпшілігі ағылшын тілінде құрастырылған. Сондай-ақ, заңнама саласы үшін де ең озық әзірлемелер ағылшын тілінде болып келеді.

2014 жылы адвокат Эндрю Арруда виртуалды заң көмекшісін әзірлеуге арналған Ross Intelligence компаниясын құрды. АҚШ-тағы осындай компаниялардың саны артып келеді және заң фирмалары виртуалды көмекшілерді бәсекелестерден асып түсудің жолы деп санайды. Law 360 сарапшыларының пікірінше, жұмыс шынымен де BigLaw жұмысының дәстүрлі моделін қайта құрып, жаңа бастаған заңгерлердің бір бөлігін жұмыстан шығаруға қауіп төндіреді [2]. Өкінішке орай, қазақ тілінде мұндай жүйелер жоқтың қасы.

Қазақстанда да заңнама саласына жаңа технологияларды енгізуге белсенді тырысуда, мысалы, Әділет министрлігі цифрлық даму министрлігімен бірлесіп «Е-ЗАҢНАМА» ақпараттық жүйесінің заң шығару процесі модулін өнеркәсіптік пайдалануға енгізу жөніндегі жобаны іске асыруда. Бұрын бұл әртүрлі мемлекеттік органдардың 7-8 жүйесі болатын. Сондай-ақ заңнама саласында жасанды интеллект әзірленуде [3].

1. Есептің қойылымы

Сұрақ-жауап жүйесі – бұл табиғи тілді өңдеуді қолдана отырып, адамдармен сөйлесе алатын қосымша. Адам мен машиналар арасындағы диалогты модельдеу жасанды интеллекттің маңызды міндеттерінің бірі болып саналады. Адам-машиналық сөйлесулерді модельдеудің жақсы көрсеткіштері бар чатбот құру әлі де осы саладағы шешілмеген міндеттердің бірі болып табылады.

Авторлар [4] SPE-QA деп аталатын жаңа тәсілді ұсынды. Ол сұраққа тақырыптық объектіге бағытталған кандидаттың ішкіграфынан оның ең семантикалық «сұрақ-жауап» жолын анықтау және соңғы жауап ретінде осы жолдың құйрық мәнін анықтау арқылы жауап береді. Мақалада [5] бірнеше қолмен жасалған функцияларды қолдана отырып, білім қорынан көптеген тақырыптар бойынша сұрақтарға жауап беруді үйренетін жүйе ұсынылған. Ұсынылған модель білім қорының сөздері мен компоненттерінің төмен өлшемді тіркемелерін зерттейді, бұл көріністер табиғи тілдегі сұрақтарды үміткерлердің жауаптарымен салыстыру үшін қолданылады. Авторлар жіктеуге, техникалық әдістерге, деректер жиынына және автоматты сұрақ-жауап бағалау көрсеткіштеріне толық шолу жасайды және ережеге негізделген әдістерді, статистикалық немесе машиналық оқытуға негізделген әдістерді және терең оқытуға негізделген әдістерді қоса алғанда, үш негізгі әдісті талдайды [6]. Авторлар Minerva-ның жаңа алгоритмін ұсынды, ол байланыс белгілі, бірақ бір ғана нысаны бар сұрақтарға жауап берудің әлдеқайда күрделі және практикалық мәселесін шешеді. Кездейсоқ серуендеу белгісіз бағыт пен бастапқы түйіннен комбинаторлық түрде көп жолдар бар жағдайларда практикалық емес болғандықтан, олар болжамды жолдарды іздеу үшін кіріс сұрауымен шартталған график бойынша қозғалуды үйренетін нейрондық күшейту оқыту тәсілін ұсынады [7]. Мақалада авторлар алдыңғы әдістердің кейбір шектеулерін жоюға мүмкіндік беретін тізбекті сәйкестендірудің жаңа итерациялық моделін ұсынады. Әдіс маңызды емес тармақтарды кесіп тастайды және жолдарға сәйкес бағаларды біртіндеп тағайындайды [8].

Білім графигі сұраққа жауап беру есебі үшін пайдалы екені белгілі, өйткені ол объектілер арасында жақсы құрылымдалған реляциялық ақпаратты береді және жанама фактілерді одан әрі шығарады. Дегенмен, тек сұрақ-жауап жұптарына негізделген білім графиктерін талдауды үйренетін сапаны бақылау жүйелерін құру қиын. Авторлар терең оқытудың жаңа архитектурасын, сондай-ақ сұрақтардағы шуды өңдей алатын және бір уақытта көп сатылы пайымдауды зерттей алатын вариациялық оқыту алгоритмін ұсынды [9].

Авторлар жасанды интеллектті құқықтық реттеу мәселесін адамның қауіпсіздік құқығы контекстінде талдайды. «Электрондық тұлға» ұғымына назар аударылады, сондай-ақ жасанды интеллекттің құқықтық мәртебесін беру мәселесі қарастырылады және АҚШ, Қытай және ЕО елдерінің осы салаларындағы заңнамалық тәжірибені зерттейді. Авторлар сонымен қатар заңнамалық саладағы барлық жинақталған тәжірибені жинақтайтын негіздемелік халықаралық конвенцияны әзірлеу және қабылдау қажеттілігін негіздейді [10]. Мақалада жартылай құрылымдалған деректерді өңдеуді зерттеу нәтижелері және таратылған кластерлік есептеу ортасы мен машиналық оқытуды қолдана отырып, ресейлік соттардың шешімдерін талдау (30 миллионға жуық) сипатталған. Деректерді өңдеу үшін Spark, ал талдау үшін шешім ағаштары пайдаланылды. Ресей Федерациясы заңнамасының ерекшеліктерін ескере отырып, Заңнама саласы үшін нашар құрылымдалған деректерден білімді алу және құрылымдау әдістері әзірленді [11].

2. Есепті шешу алгоритмі

Қазақстан Республикасының заңнамасы саласында сұрақ-жауап жүйесін (СЖЖ) әзірлеу заңдық сипаттағы түрлі сұрақтарға жауап алу процесін жақсарта алар еді. Бұл жүйені дамыту үшін сұрақ-жауап жүйесін құрудың жалпы негізгі түрлерін, кезеңдері мен әдістерін қарастыру қажет.

СЖЖ-ін екі негізгі топқа бөлуге болады [12]:

- жалпы-кез-келген сұрақтарға немесе олардың көпшілігіне жауап беруге бағытталған СЖЖ түрі. Пайдаланушы қойған сұраққа жауап алу үшін мұндай СЖЖ Интернетті жиі пайдаланады. Жалпы СЖЖ көбінесе құрылымдалмаған ақпаратты өңдейді, осыған байланысты олар күрделі ішкі құрылымға ие болуы керек және әртүрлі NLP

технологияларын қолдануы керек;

- жоғары мамандандырылған-белгілі бір тақырыптың немесе пәндік саланың (медицина, өнер және т.б.) сұрақтарына арналған СЖЖ түрі. Мұндай СЖЖ негізінен пәндік аймақ тақырыбындағы жергілікті деректер қоймаларын пайдаланады.

Сондай-ақ, СЖЖ ақпараттық іздеу, ақпараттық мәліметтер қорының түрі мен болуы, белгілі бір тақырыптағы сарапшыларды тарту қажеттілігі, СЖЖ архитектуралық икемділігі, есептеу ресурсы сияқты ерекшеліктерді ескере отырып, СЖЖ енгізу әдістері бойынша жіктелуі мүмкін [13].

СЖЖ салу тәсілдері мен принциптері бойынша келесі түрлерге бөлуге болады:

- Веб-іздеуді қолданатын СЖЖ (ағылшынша «web-based question answering system») [14];

- Сұрақтар мен жауаптар жинағы бар СЖЖ;
- Индекстелген құжаттар жинағы бар СЖЖ;
- сарапшы СЖЖ.

Веб-іздеуді қолданатын СЖЖ [15] ақпаратты іздеу жүйесі ретінде веб-беттер немесе олардың фрагменттері болып табылатын іздеу жүйесінің нәтижесін пайдаланады, 1 суретте көрсетілген. Мұндай салмақтың жұмыс алгоритмі келесідей болуы мүмкін: СЖЖ пайдаланушыдан оған сұрақ ұсынысын алады, содан кейін сұрақты өңдейді және іздеу жүйесіне кілт сөздерінен сұрау жасайды. Кілттік сөздер сұрақтың негізінде таңдалады. Іздеу сұрауының нәтижесінде СЖЖ ақпаратты іздеу жұмысының нәтижесін сілтемелер жиынтығы және үзінділер деп аталатын мәтіннің шағын снопеттері түрінде алады.



1-сурет. Веб-іздеуді қолданатын СЖЖ жалпыланған архитектурасы

Қолданыстағы СЖЖ-тың негізгі бөлігі ағылшын тілімен жұмыс істеуге арналған. СЖЖ бойынша кейбір жұмыстарды зерттей отырып, СЖЖ жұмыс процесін бірнеше кезеңге бөлуге болады деген қорытынды жасауға болады:

- сұрақты талдау және өңдеу;
- жауапты іздеу;
- жауап алу.

Сонымен қатар, кезеңдерді анықтауға болады:

- жауапты бағалау және түсіндіру;
- жауап беру;
- кері байланыс және қосымша сұрақтар.

3. Сұрақ-жауап жүйесіндегі табиғи тілді өңдеу әдістері

Мәтінді талдау әдістері. Сұрақ-жауап жүйесінде тілді өңдеудің әртүрлі әдістері қолданылады, оларға семантикалық талдау, қолданушының сұранысы аясында сөздер мен сөз тіркестерінің мағынасын түсінуге мүмкіндік беретін әдіс жатады. Сондай-ақ, мәтінді

талдау үшін СЖЖ әзірлеу кезінде қолданылатын және сөздердің грамматикалық құрылымын анықтауға және зат есімдер, етістіктер, сын есімдер және т. б. сияқты сөйлеудің негізгі бөліктерін бөліп көрсетуге мүмкіндік беретін мәтіннің морфологиялық талдауы. Мәтінді талдау, сөйлемнің синтаксистік құрылымын анықтауға және оның негізгі элементтерін, мысалы, субъект, предикат, толықтауыш және т.б. талдауды сөйлемнің семантикалық құрылымын анықтау үшін де қолдануға болады, бұл жүйеге пайдаланушының сұрауына жауап беру үшін қандай сөздер маңызды екенін түсінуге мүмкіндік береді [15].

Үміткерлердің жауабын таңдау. Аталған нысандарды таңдау, мұнда күтілетін жауап түрі мәтін фрагментінен жауапты анықтау стратегиясын анықтайды, әдетте мәтін фрагменттерін бастапқы талдау кезінде фактілер туралы сұрақтар үшін. Жауаптарға арналған шаблондарды қолдану, мәтіннен жауап алудың тағы бір танымал тәсілі (ағылшынша «pattern matching»). Бұл әдістің жұмыс механизмі келесідей: күтілетін жауаптың әр түрі үшін шаблондар жасалады, сол арқылы мәтін үзінділерінде жауап үміткерлерін іздейді және шығарады. Пайдалану N-грамм мәтіндік фрагменттерден жауап алуға үміткерлерді таңдау үшін N-грамм пайдалану арқылы шығару процесі. N-грамм – бұл бір-бірінен кейінгі n элементтерден тұратын реттілік. Мұндай алгоритм сұрақты өңдеу және талдау кезеңінен кейін қалыптасатын іздеу сұрауынан кейін табылған снопеттерге қолдануда тиімді пайданылады [16].

Үміткерлердің жауабын бағалау. Жауап үміткерлерін таңдау кезеңі бағалау кезеңімен және болжамды жауапты таңдаумен жалғасады. Бағалау тексеру арқылы әр түрлі жолдармен жүзеге асырылады (ағылшынша «answer candidate proofing»). Сөз сөмкесі әдісі-жауап берушіге бағалауды есептеудің қарапайым және кең таралған әдістерінің бірі, сөйлемге тәуелділік грамматикасын қолдану әдісі, ықтимал жауап берушіні бағалау тәсілдерінің бірі, сөйлемге тәуелділік грамматикасын қолданады (ағылшынша «dependency grammars»). Семантикалық құрылымдарды қолдану әдісі, негізі семантикалық рөлдерді анықтаумен байланысты мәтіндік ақпаратты өңдеу болып табылады (ағылшынша «semantic role labeling») [17-18]. Жалпы, бұл әдістің міндеті келесідей: табиғи тілдегі белгілі бір сөйлем үшін сөйлемде сипатталған кез-келген жағдайдың барлық қатысушыларын және олардың қатысушылар арасындағы қатынастарға сәйкес келетін семантикалық рөлдерін белгілеу қажет.

4. Қорытынды

Зерттеу барысында қолданыстағы СЖЖ типтері мен мәтінді талдау әдістері зерттелді. Қолданыстағы СЖЖ талдауы жүргізілді. Соңында, іздеуге негізделген сұрақтар мен жауаптарда жиі кездесетін кейбір мәселелер аталды және болашақ даму тенденцияларын және іздеуге негізделген сұрақ-жауап мәселелерін талқыланды. Зерттеу тақырыбы бойынша әзірлеу болашағы жергілікті дерекқорды пайдаланатын және төрт кезеңнен тұратын заңнама саласында СЖЖ әзірлеу болып табылады: сұрақты өңдеу және талдау, жауапты ақпараттық іздеу, жауап алу және кері байланыс және қосымша сұрақтар.

Зерттеу жұмысы (жоба коды AP19677835).

Әдебиеттер

1.

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%BE%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0 (дата

последнего обращения: 01.06.2024).

2. URL:<https://pravo.ru/story/view/131655/> (дата последнего обращения: 01.06.2024).
3. <https://ortcom.kz/en/novosti/1718880040> (дата последнего обращения: 03.06.2024).
4. Bordes A., Chopra S., Weston J. Question answering with subgraph embeddings // Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2014. P. 615–620.
5. Arshia F.Z., Keyvanrad M.A., Sadidpour S.S., Mohammadi S.M. PeQA: A Massive Persian Question-Answering and Chatbot Dataset //12th International Conference on Computer and Knowledge Engineering, 2022. P. 392–397.
6. Zhao Y., Liu D. X., Wan C.X., Liu X.P., Liao G. Retrieval-Based Automatic Question Answer: A Literature Survey //Chinese Journal of Computers. 2021. Vol. 44, P. 1214–1232.
7. Das R., Dhuliawala S., Zaheer M., Vilnis L., Durugkar I., Krishnamurthy A., Smola A., McCallum A. Go for a walk and arrive at the answer: Reasoning over paths in knowledge bases using reinforcement learning//6th International Conference on Learning Representations, 2018. P. 1–18.
8. Lan Y., Wang S., Jiang J. Multi-hop knowledge base question answering with an iterative sequence matching model //Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM, 2019. Vol. 8970943, P. 359-368.
9. Zhang Y., Dai H., Kozareva Z., Smola A.J., Song L. Variational reasoning for question answering with knowledge graph //32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2018, P. 6069-6076.
10. Metsker O., Trofimov E., Kopanitsa G. Application of machine learning metrics for dynamic E-justice processes // Conference of Open Innovation Association, January 2021.
11. Lipinsky D.A., Romashov R. A., Musatkina A. A, Golenok S.G., Bryleva E. A. The problems of legal regulation of AI: A rather-legal research//Procedia Computer Science, 2021. Vol. 156, P. 264-273.
12. Metsker O., Trofimov E. P., Butakov N. Court Decisions Data Analysis Using Distributed Computing and Machine Learning to Improve Lawmaking and Law Enforcement //8th International Young Scientists Conference on Computational Science, 2019
13. Antonova A. S., Aksyonov K. A., Ziomkovskaia P. E. Development of Method and Information Technology for Decision-Making, Modeling, and Processes Scheduling // International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM, American Institute of Physics Inc. 2022. P.130003-1–130003 <https://doi.org/10.1063/5.0082100> P/.
14. Aksyonov K., Aksyonova O., Antonova A., Aksyonova E., Ziomkovskaya P. Development of Cloud-Based Microservices to Decision Support System. IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 582 IFIP, 16th IFIP WG 2.13 International Conference on Open Source Systems, Russian Federation; 12-14 May 2020. 2020. P.87-97.
15. Dongli Han, Yuhei Kato, Kazuaki Takehara, Tetsuya Yamamoto, Kazunori Sugimura, Minoru Harada QA System Metis Based on Web Searching and Semantic Graph Matching // IFIP International Federation for Information Processing. 228. 2007. P.123-133
16. Gaizauskas R., Humphreys K. A Combined IR/NLP Approach to Question Answering Against Large Text Collections. Department of Computer Science. University of Sheffield, Sheffield 2010. №10.1.1.26.119.
17. Dan Roth, Gio Kao Kao, Xin Li, Ramya Nagarajan, Vasin Punyakanok, Nick Rizzolo, Wen-tau Yih, Cecilia Ovesdotter Aim, Liam Gerard Moran Learning Components for a Question-Answering System // TREC, 2001. P. 539-548.
18. Shen Dan, Mariella Lapata Using Semantic Roles to Improve Question Answering // Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning. Jeju, Korea: Association for Computational Linguistics, 2007. P.12-22.

Рахимова Диана Рамазановна – PhD
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті;
email: di.diva@mail.ru;
Туарбек Әсем Туарбекқызы – ст.преп.
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті
email: turarbek_ase@mail.ru

СЕКЦИЯ 12

Жасанды интеллект. Машиналық оқыту. Үлкен деректер.

Искусственный интеллект. Машинное обучение. Big Data.

Artificial intelligence. Machine learning. Big Data.

AI-POWERED TRAFFIC MANAGEMENT FOR BUSY INTERSECTIONS

**Didar Moldakhmetov, Madina Mansurova, Baurzhan Belgibayev,
Zhanel Baigarayeva, Talshyn Sarsembayeva, Asel Ospan**

*Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University
Almaty, Kazakhstan
e-mail: dodisamuraii@gmail.com, mansurova.madina@gmail.com*

Abstract. *A modern system of intelligent dispatching for a complex road infrastructure facility in the metropolis of Almaty is being presented. To improve the existing automated traffic management system (ATMS) in the city and to gradually implement digital traffic technologies with autopilot vehicles, a crucial and pressing task for IT is to replace the traffic police dispatcher-employee with a neural network-based artificial intelligence. The work demonstrates the methods and results of implementing a neural network into a mobile server program for the AnyLogic environment using the SUMO application. This approach, using the built-in TraCI connector, established connections with Python scripts of the server program AnylogicRaspberryServer.py. Testing and analysis of the research results showed the adequacy of virtual dispatching, which allowed reducing the load on the traffic police employee under moderate and average traffic conditions. It is noted that manual control of the situation at the Abay/Saina intersection is more preferable during peak hours. The obtained software products and the semi-industrial prototype of the local ISU with AI are protected by copyright certificates and have important practical significance.*

Keywords: *AI, SCADA, digitalization of road infrastructure, IoT, traffic management, Intelligent transport systems, M2M.*

I. INTRODUCTION

At the current stage of the intellectualization of dispatch systems by automated management systems, a new important direction is emerging, related to the application and determination of the ranges of adequate use of neural networks in the tasks of unmanned (robotized) decision-making for important and very complex technical objects. The most advanced SCADA systems for the civilian public sphere are car autopilots of various generations. The emergence of unmanned robotaxis has become a reality; however, attempts to teach neurocomputers of electric cars to safely navigate complex and multi-level interchanges represent a super-task for the programmers of the latest generation autopilots.

The analysis of the reasons for the significant limitation of the use of Tesla electric car autopilots in the USA due to fatal accidents led to the necessity of the presence and active monitoring of the road situation by a dispatcher-driver of an electric car with an autopilot. In fact, the reliability and safety of robotaxis have been legislatively limited, although statistics show that the likelihood of an accident with a human-driven car is higher than that of a robotaxi.

These facts are largely analogous to the technological disasters at large and strategically important technical objects in the nuclear industry and aviation, equipped with modern SCADA systems. In the case of the Chernobyl disaster, the human factor led to terrible consequences, while

in the case of the disappearance of the Malaysian passenger plane MH-370 due to unauthorized shutdown of the SCADA system by the pilot, it also indicates flaws in SCADA system software. Automation could not report the emergency situation and shut down the technical object from unauthorized human managerial decisions. In the case of the above-described electric car accidents, the cause of accidents is the ambiguity of the road situation at multi-level interchanges or non-standard situations on the road during repair work. According to several authors [1,2], who studied the features of traffic on complex high-speed highways, one-sided IoT automation of only the rolling stock is a potentially dangerous trend, indicating the need to consider the features of human-robot interaction (HMI) and robot-to-robot (M2M) interaction.

It should be noted that multi-level interchanges implement complex transport operations involving the interaction of cars and humans [3]. The most dangerous and difficult to program traffic rules are related to performing maneuvers such as left turns and U-turns, as well as pedestrians crossing the roadway outside of regulated pedestrian crossings. In practice, drivers perform this maneuver according to the “right-hand obstacle” rule, but in some situations, this can lead to congestion processes.

It is known that performing a left turn by the penetration method is a complex and very dangerous maneuver, which often leads to accident situations. Figure 1 shows the diagram of this maneuver.

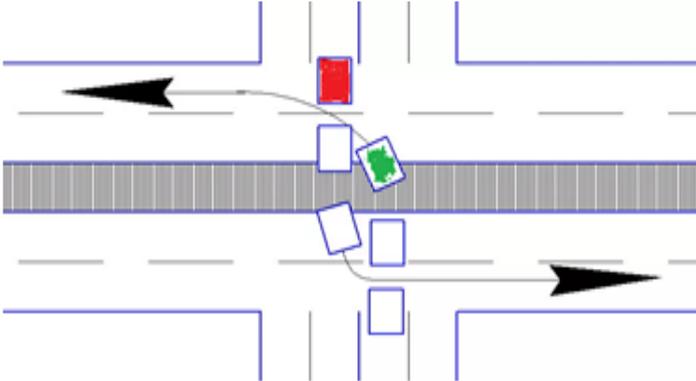


Fig. 1. The scheme of the left turn at the intersection by the penetration method

As can be seen, the green car needs to precisely calculate the moment to safely penetrate the gap between the red and white cars. On Abay Avenue, large gaps between cars are very rare, as this highway is one of the busiest roads in Almaty during working hours.

Moreover, the complexity of performing this maneuver at the intersection of Abay Avenue and Saina Street led to the necessity of constructing an interchange.



Fig. 2. Displaying the traffic situation on the local PC of a traffic police dispatcher with a SCADA system (a) and a traffic diagram at the Abai/ Sain interchange

It should be noted that the task of the left turns of the Abai interchange is/The problem has not been completely solved due to technical and economic problems. The lack of a full-blooded interchange at this intersection with non-intersecting left turns has almost dramatically reduced traffic and negated the idea of no traffic light interchange.

An additional southern pocket at the interchange from the traffic light allows you to close traffic along Abai Avenue for 35 seconds, which allows buses and cars to make a safe left turn. Therefore, it was decided in the project to apply simulation modeling to regulate the stopping time of transport by direct traffic along Abai Avenue when making left turns from the northern pocket in the morning and the southern pocket when driving in the evening.

Thus, training the AI of the interchange server for adequate management decision-making in difficult situations of maneuvering vehicles on intersecting courses for the multilevel intersection of Sain / Abai in Almaty is an urgent applied task for the implementation of IoT at transport facilities.

II. LITERATURE REVIEW

There are numerous opportunities for improvement in smart transportation, which is why many academics are interested in it. Route or course streamlining is one of the main subjects of interest in shrewd transportation [4]. Intelligent transportation systems, or ITS, have been developed since the beginning of the 1970s. It is the transportation system's direction for the future. Modern technologies like electronic sensor technologies, data transmission technologies, and intelligent control technologies are incorporated into transportation systems by ITS [5]. Some AI transportation technologies include Artificial Neural Networks (ANN), Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA), Fuzzy Logic Model (FLM), and Ant Colony Optimiser (ACO). The objective of carrying out these techniques in transportation the executives is to alleviate clog, increment suburbanite travel time unwavering quality, and improve the general framework's financial aspects and efficiency [6]. Over the past few decades, ITS technology has advanced significantly. Meanwhile, conventional travel conditions have improved as a result of the implementation of ITS. ITS has become a global phenomenon, attracting the attention of transportation experts, automobile manufacturers, and government officials worldwide [7]. While exceptional devel-opments in detecting, handling, and remote correspondence innovation have permitted ITS applications, they will introduce a few obstructions because of their versatility and different nature of-administration necessities, as well as the tremendous volumes of information they will make [8].

As evidenced by the fact that the annual congestion cost for a motorist in the United States in 2018 was 97 hours and \$1,348, it is because of the growing urban population. Therefore, a recent ITS research priority is regulating traffic signals with adaptive modules [7]. Intelligent transportation systems (ITS) are the seamless integration of emerging technologies like connected cars, cloud computing, and the Internet of Things (IoT) with transportation infrastructures. A computer network, information collection, business applications, monitoring features, alarming functions, resource management, support for operation, maintenance, and service, communications, security management, and running protection are all parts of this system [8]. Concerns like reduced fuel consumption, increased CO₂ emissions, reduced traffic congestion, and enhanced road safety will be made possible by ITS [9].

Even though automated traffic light systems have replaced traffic wardens and flagmen, optimizing large traffic jams remains a significant challenge, particularly when there are multiple junction nodes [10]. The new planned expert system, in contrast to conventional traffic signals, has a variable cycle time [11]. Pre-time (predefined signal plan), actuated (triggered signal control), or ATSC (adaptive traffic signal control) are the three traditional traffic control techniques that are utilized in accordance with the traffic assignment approach chosen by the traffic

management authority [12]. Intelligent The problems with traditional traffic signal systems have led to the development of traffic lights. The technology of smart traffic lights is used to dynamically control traffic and pedestrians [13]. A smart signaling system can be implemented using RFID technology. RFID is a condensing for Radio Recurrence Recognizable proof Framework [14].

Real-time traffic monitoring is made possible by sophisticated sensors and AI algorithms, making accurate analysis of the current traffic conditions possible [15]. Predictive traffic management is made possible by AI-powered prediction algorithms that use historical and real-time data to estimate traffic congestion [16]. These advances have shown guarantee as far as course enhancement, travel time decrease, and generally speaking traffic stream. Addressing privacy concerns brought up by widespread surveillance is one of the difficulties [17]. Real-time monitoring improves the efficiency of urban transportation networks by making it easier to allocate resources and respond quickly to emergencies [17]. In response to rising traffic demands and expanding transportation requirements, automated driving systems are being implemented instead of the current helper systems. Before full implementation, connectivity in the form of Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) settings is anticipated to improve traffic safety and efficiency. Associated and robotized vehicles (CV/AV) try to resolve issues, for example, expanded traffic interest, geological limitations, and ecological impacts [18].

III. MATERIALS AND METHODS

As is known, the definition of SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) includes software for the centralized control and data acquisition for favorable forecasting of technological processes in large and hazardous productions. Currently, SCADA allows systematic monitoring of technological data flows from multiple control points, data collection, forecasting, and management.

The main devices for visual display of current data have become touch screens of PCs, mobile phones, and tablets. Access to SCADA system data is carried out from OPS servers via network protocols for transmitting/receiving graphical, digital, and audio information. Internet technologies and industrial IoT automation qualify these properties of information and control systems for road facilities and modern electric cars as a compact SCADA system, which is constantly evolving due to new embedded systems for road service automation and autopilots.

It should be noted that the characteristics and functionality of the SCADA systems in cars and road facilities do not reflect the completeness and complexity of industrial SCADA systems, such as those at a nuclear power plant. Therefore, this work considers a version of a mobile compact SCADA system, which is implemented for modern cars and road infrastructure, using the example of the complex interchange at Abay/Saina in the metropolis of Almaty. Below are the main functions of the software for the interchange and robotaxi based on an electric car.

Firstly, this software for the interchange and electric car is part of the mobile Internet of Things, in which satellite internet from Elon Musk's SpaceX is widely used. These information exchange systems include remote satellite terminals (RTU) and the main terminal MTU as the Data Center. The road facility is a stationary automation object, and the upgrade is carried out using well-known IoT methodologies.

Secondly, data transmission between mobile and stationary devices is carried out using industrial comprehensive automation protocols, such as ModBus TCP/Serial ProfiBUS/NET, CANBus, RS-232, RS-422, and RS-485. Modern cross-platforms allow access to these protocols at the level of information systems (ERP, MES, CRM).

Thirdly, existing industrial comprehensive automation and visualization environments have become the basis for creating a compact and mass-market sixth version of automotive (mobile)

SCADA systems, which according to Tesla, are sold as additional options for robotaxis for 12,000 USD . Chinese companies, such as Baidu , are actively promoting sixth-generation robotaxis with the RT6 model SCADA system. Experiments based on a fleet of 1,000 cars in the metropolis of Wuhan showed 1.5 times the efficiency of robotaxis compared to taxis with drivers.



Fig. 3. View of the interior of a robotaxi with autopilot RT6 (photo by Baidu)

Thus, automotive SCADA systems are a set of programs that adequately model the mutual positioning of road infrastructure objects, pedestrians, and cars around a robotaxi. The main goal of such interactions is to safely deliver passengers to their final destination using AI with graphical and digital recognition of the current situation for maneuvering and movement. During the journey, the ISU, as part of the SCADA system, perceives passengers' audio signals. In the event of an emergency, the SCADA system activates passenger emergency life support systems and reports the causes of the accident in the form of a report to the taxi fleet's information center and the traffic police. The car's audio and visual signal lights indicate the accident and alert surrounding road users.

Therefore, existing and prospective SCADA systems with visualization of technological processes in vehicles allow the dispatcher (human or robot) to quickly and adequately assess the condition of the managed transport object and make the right decision from video analysis and assessment of digital sensor and detector values. Generations of autopilots range from a driver-dispatcher with automation of control processes from 0% to 90% in high-level autopilots. Currently, there is no autopilot capable of completely replacing a human.

In cars without a built-in computer (i.e., a control PC with a powerful processor, graphics card, and GPIO library), all functions of assessing the state of the car as a mobile technical object and controlling it depending on the road situation are performed by the human driver. This common profession falls into the category of complex, dangerous jobs requiring state certification of driving rights by categories and types of vehicles. Safety monitoring and analysis in transport are controlled by the traffic police, the prosecutor's office, the Ministry of Internal Affairs, etc.

In fact, the driver is a technologist-dispatcher of a complex SCADA system that changes and improves over time. The evolution of automation and the implementation of electronic systems in cars and transport infrastructure are presented in the work. It should be noted and emphasized that the increase in the level of automation of all technological processes in transport corresponds to the development and mass availability of microelectronics and IT technologies. The evolution of driver labor ergonomics and the improvement of road transport safety is the most important direction of technical progress in transport, and the emergence of robotaxis is a new innovative solution to improve the economic efficiency of taxi fleets.

M2M interaction of compact automotive SCADA systems and IoT data objects in road infrastructure significantly eases the work of drivers and traffic police officers for safe and efficient traffic in the city of Almaty. This is the novelty of this development.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

Let us consider the features of the data transmission block structure regarding the road situation around the Abay/Saina interchange in the Internet network to implement M2M interaction with the road situation analysis block at the multi-level interchange of the electric car autopilot SCADA system. As the analysis of the latest modifications of electric car autopilots has shown, due to fatal accidents on overpasses, Tesla programmers have started making changes to the road infrastructure recognition library, adding a sub-library with typical and most complex multi-level interchanges on US highways. As is known, maneuvering on multi-level overpasses in the US is a challenging task for inexperienced drivers, even with the use of online navigators. A similar problem often arises in Almaty.

This approach significantly limits the scope of autopilot applications and will require constant updates to the libraries of interchange structures and markings in other countries. The probability of an accident at a road interchange sharply increases with changes in the traffic light cycle programs, road markings, and in the event of road traffic incidents (RTIs).

For example, as shown in Figure 1, the Abay-east direction has an option for a left turn onto Saina-south; in the previous version, this turn was strictly prohibited as it reduced the traffic flow in the Abay-west direction. Such changes in the maneuvering rules at interchanges in the city are made frequently, and drivers are poorly informed about them, which can lead to RTIs.

Figure 4 shows the functional and schematic diagrams of the M2M interaction between the robotaxi and the ISU of the Abay/Saina interchange.

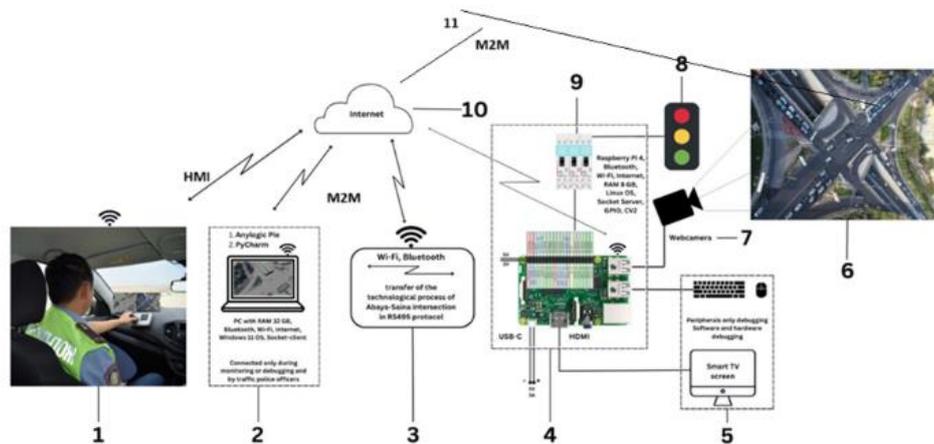


Fig. 4. Functional and schematic diagram of M2M interaction of the robotaxi SCADA system with the PC server of the traffic police dispatcher: 1-traffic police officer -dispatcher;2-PCserver with AnyLogic with AI;3-socket wireless PC interface channel with mini PC; 4-single-board mini control PC with Raspbian OS and CNN “yolov8n”; 5-a block with keyboard and display for debugging; 6-the real picture of traffic at the interchange Abaya/ Saina; 7-street vandal-impact resistant IP camera with mini Linux OS; 8-traffic light; 9-relay assembly for interfacing a traffic light with an intelligent set-top box with video vision and a control PC; 10-Internet access, 11- SCADA -robotaxi system with AI

As seen in Figure 4, analog, hybrid, and digital information systems for road video analytics are operating in the central part of the city, some of which are equipped with outdated analog telemetry for phase control. Modernization work is constantly being carried out by the Almaty city

administration, and this work proposes one of the options for mobile digitization of such transport tasks using AI.

The main solution so far is the heuristically found rational ratio of the traffic light phases for allowing traffic in the Abay west-east directions. The descent from Saina Street to the north-south involves using a fixed change in the traffic light phases, heuristically determined by the traffic police officer, considering the daily traffic intensity. It is noted that the criterion for the feasibility of using the chosen ratio of permissive traffic light phases is the exclusion of a complex unmanaged "jam" at the intersection, which requires the intervention of a traffic police officer for manual traffic flow regulation. It is also noted that the inefficiency of traffic lights operation is evident during low and moderate traffic.

At the same time, to ease the monotonous work of the traffic police dispatcher in traffic control, it is proposed to replace them with AI, which, through the Internet and M2M interaction, can optimize traffic light phases using convolutional neural networks (CNNs) with neurocomputer vision and ISU robotaxi.

The detailed results of CNN training based on a series of experiments implemented using a simulation computer model of traffic at the Abay/Saina interchange and the developed software algorithms are protected by an RK patent. The application of SUMO allowed the integration of the neural network into a mobile server program paired with a dispatcher PC, where online animation is implemented in the AnyLogic environment. This approach made it possible to establish connections with Python scripts of the AnylogicRaspberryServer.py server program using the built-in TraCI connector and actively manage traffic light cycle programs through a socket interface.

As a result of the AI server operation, the following traffic light cycle programs were obtained for low and moderate traffic on the upper tier of the Abay/Saina interchange. Below, it is shown how adjacent intersections affect traffic and which cycle programs were selected by the AI.

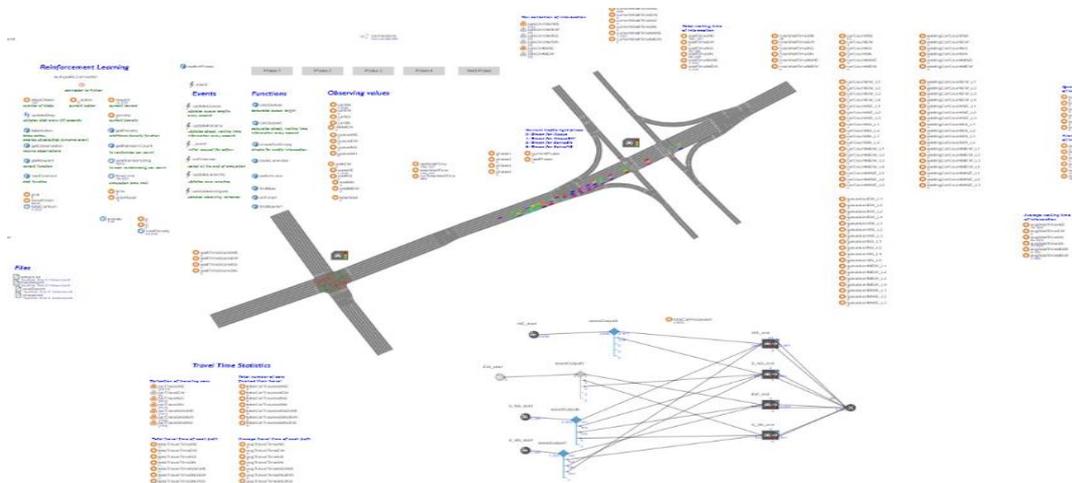


Fig. 5. interaction of adjacent intersections with the Abai /Sain interchange

To simplify calculations with AI, we will introduce three levels of traffic: light, medium and heavy. As can be seen from Table 1, with light and medium traffic, the throughput is below 50 machines per minute. This mode is adequately implemented by AI and the participation of the traffic police dispatcher is limited only to online monitoring. Note that the online monitoring mode in the proposed version may be remote.

TABLE I. CLASSIFICATION AND LOADING MODES OF TRAFFIC LIGHT OBJECTS AT THE INTERCHANGE ABAYA /SAINA

	Abaya-EW	Abaya-WE	Saina-SN	Saina-NS
Light	~750 c/h 12-13 c/m	~750 c/h 12-13 c/m	~400 c/h 6-7 c/m	~400 c/h 6-7 c/m
Medium	~1500 c/h 25 c/m	~1500 c/h 25 c/m	~750 c/h 12-13 c/m	~750 c/h 12-13 c/m
Heavy	~3000 c/h 50 c/m	~3000 c/h 50 c/m	~1500 c/h 25 c/m	~1500 c/h 25 c/m

Dataset Number					
	Abaya-EW	Abaya-WE	Saina-SN	Saina-NS	Car count
1	Light	Light	Light	Light	
2	Medium	Medium	Medium	Medium	4500
3	Heavy	Heavy	Heavy	Heavy	
4	Light	Heavy	Light	Heavy	
5	Heavy	Light	Heavy	Light	
6	Light	Medium	Light	Medium	
7	Medium	Light	Medium	Light	

More complex cyclograms occur during peak traffic (see Figure 6).

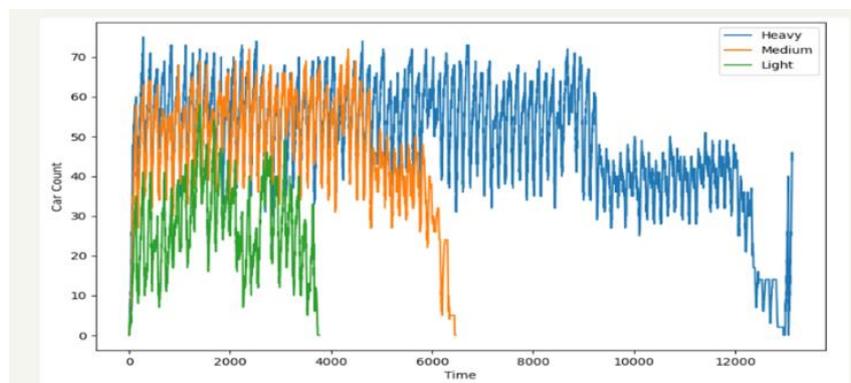


Fig. 6. The waiting time for vehicles at the traffic lights of the Abay/Saina interchange

As shown in Figure 6, the calculated waiting times by AI at the intersection for light and medium traffic are displayed. In reality, under these conditions, this intersection can be traversed in less than 100 seconds. The maximum waiting time is slightly more than 1 minute.

The developed methods of AI training and calculations for the SCADA system on the PC server have shown that for moderate traffic intensity, a rational way to reduce the idling time of vehicles with running internal combustion engines is a uniform cycle program with a 15-30 second green light phase.

As morning traffic increases, it is rational to change the morning green light phase on Abay Street in the east direction to 60 seconds instead of the current 43 seconds. This will account for the sharp decrease in the number of cars traveling from Abay west and making a left turn onto

Saina south. These data can be considered by the AI of the SCADA system of the electric car autopilot, allowing safe passage through the Saina/Abay interchange.

Thus, testing and evaluating the effectiveness of the SCADA system on the PC server and the electric car autopilot based on AI reduces the workload on traffic police compared to traditional methods of visual monitoring and manual traffic management. The proposed AI software products contribute to the implementation of modern methods of intelligent traffic forecasting and digitization in the city of Almaty.

V. CONCLUSION

Based on the review, analysis, and synthesis of previously obtained results and the work conducted on the application of AI in mobile SCADA systems in transportation, the following conclusions and recommendations are made:

1. SCADA systems in transportation are a subclass of modern industrial SCADA systems for large and complex technical objects.

2. The main property of SCADA systems for transportation structures and electric car autopilots is the timely and adequate display of current traffic conditions and the forecasting of safe transport movement under conditions of heavy traffic and peak loads on highways.

3. Autonomous robot taxis are a new and innovative type of efficient electric transport and require the creation of a digital IoT road infrastructure.

4. The proposed mobile digital PC server with a DPS officer dispatcher in the work can be improved with an AI application based on CNN, which raises the level of digitization of HMI and M2M interaction of smart traffic lights, pedestrians of Smart City, and IoT road infrastructure.

5. Calculations on the PC server of the local SCADA system using AI have shown the feasibility of replacing the DPS officer dispatcher with AI, allowing police officers to focus on making managerial decisions during peak hours.

6. AI network applications for the PC server and robotaxi will allow safe passage through the Abay/Saina interchange in "leader-follower" mode.

7. The extensive application of the work's results will enhance the level of digitization and intellectualization of the road infrastructure in the metropolis of Almaty at the most significant and critical nodes of the city's transport system.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by Committee of Science of Republic of Kazakhstan AP19678998 "Neurocomputer Vision of Smart Traffic Lights in Megacities of the Country".

REFERENCES

[1] Tarasov V.B., Svyatkina M.N. Intelligent SCADA Systems: Origins and Prospects. - Collection Science and Education. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, No. 10, 2021, pp. 1-13.

[2] Six Levels of Vehicle Automation. <https://www.google.com/amp/s/autokiyiv.info/2018/02/12/6-urovney-avtomatizatsii-avtomobiley/>

[3] A. Boltaboyeva, B. Belgibayev, M. Mansurova, Zh. Baigarayeva. Utilization of Developments of Intelligent Automation and Control Systems in Education. - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference AIACIT-2024 "Achievements and Applications of Artificial Intelligence in Automation, Control and Information Technologies." - Almaty, AUES,

2024, pp. 22-26.

[4] F. Zantalis, G. Koulouras, S. Karabetsos, and D. Kandris, "A review of machine learning and IoT in smart transportation," *Future Internet*, vol. 11, no. 4, p. 94, 2019, doi: 10.3390/fi11040094.

[5] L. Zhu, F. R. Yu, Y. Wang, B. Ning, and T. Tang, "Big data analytics in intelligent transportation systems: A survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 383-398, 2018, doi: 10.1109/TITS.2018.2815678.

[6] R. Abduljabbar, H. Dia, S. Liyanage, and S. A. Bagloee, "Applications of artificial intelligence in transport: An overview," *Sustainability*, vol. 11, no. 1, p. 189, 2019, doi: 10.3390/su11010189.

[7] Y. Lin, P. Wang, and M. Ma, "Intelligent transportation system (ITS): Concept, challenge and opportunity," in 2017 IEEE 3rd International Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing (HSPC), and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS), 2017: IEEE, pp. 167-172, doi: 10.1109/BigDataSecurity.2017.50.

[8] T. Yuan, W. Da Rocha Neto, C. E. Rothenberg, K. Obraczka, C. Barakat, and T. Turetli, "Machine learning for next-generation intelligent transportation systems: A survey," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 33, no. 4, p. e4427, 2022, doi: 10.1002/ett.4427.

[9] E. D'Andrea and F. Marcelloni, "Detection of traffic congestion and incidents from GPS trace analysis," *Expert Systems with Applications*, vol. 73, pp. 43-56, 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2016.12.018.

[10] I. Isa, N. Shaari, A. Fayeez, and N. Azlin, "Portable wireless traffic light system (PWTLs)," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 242-247, 2014.

[11] I. M. Albatish and S. S. Abu-Naser, "Modeling and controlling smart traffic light system using a rule-based system," in 2019 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET), 2019: IEEE, pp. 55-60, doi: 10.1109/ICPET.2019.00018.

[12] W.-H. Lee and C.-Y. Chiu, "Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications," *Sensors*, vol. 20, no. 2, p. 508, 2020, doi: 10.3390/s20020508.

[13] L. F. P. De Oliveira, L. T. Manera, and P. D. G. Da Luz, "Development of a smart traffic light control system with real-time monitoring," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 5, pp. 3384-3393, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3022392.

[14] A. Atta, S. Abbas, M. A. Khan, G. Ahmed, and U. Farooq, "An adaptive approach: Smart traffic congestion control system," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 32, no. 9, pp. 1012-1019, 2020, doi: 10.1016/j.jksuci.2018.10.011.

[15] A. Haydari and Y. Yilmaz, "Deep reinforcement learning for intelligent transportation systems: A survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 11-32, 2020, doi: 10.1109/TITS.2020.3008612.

[16] B. Sun and J. Aplan, "Operational planning of public transit with economic and environmental goals: application to the Minneapolis–St. Paul bus system," *Public Transport*, vol. 11, no. 2, pp. 237-267, 2019, doi: 10.1007/s12469-019-00199-9.

[17] L. S. Iyer, "AI enabled applications towards intelligent transportation," *Transportation Engineering*, vol. 5, p. 100083, 2021, doi: 10.1016/j.treng.2021.100083.

[18] A. Richter, M.-O. Löwner, R. Ebendt, and M. Scholz, "Towards an integrated urban development considering novel intelligent transportation systems: Urban Development Considering Novel Transport," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 155, p. 119970, 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2020.119970.

[19] Elon Musk's Plans for Robotaxi Production Caused Chaos in Tesla's Business. <https://hightech.plus/2024/04/23/plani-ilona-masko-po-vipusku-robotaksi-vizvali-haos-v-biznese-tesla>

[20] A Very Cheap Level 4 Autonomous Car was Presented in China. It Will Be Used in Taxis. <https://dzen.ru/a/ZkWYZv3bwX6gktz7>

[21] Automation Based on Autonomous Vehicle Transport. <https://www.informio.ru/publications/id6323/Avtomatizacija-na-osnove-bespilotnogo-avtomobilnogo-transporta>

[22] Belgibayev Baurzhan Abdrakhimovich, Mansurova Madina Yesimkhanovna, Sarsembayeva Talshyn Sagdatbekkyzy. Traffic Light Control Signal Recognition System in Real-Time Using Raspberry Pi. - Author's Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 47420 dated June 12, 2024.

[23] Car Automation. <https://evolution.skf.com/ru>

[24] Baurzhan Belgibaev, Madina Mansurova, Sanzhar Abdrakhim, and Ainur Ormanbekova. Smart Traffic Lights with Video Vision Based on a Control Minicomputer in Kazakhstani Megacities. - Seminar "Soft Computing and Intelligent Systems: Theory and Applications" in Kazakhstan, November 7-9, 2023, in conjunction with the 14th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN). SCISTA2023 submission 20 update. - Almaty, 2023.

[25] Moldakhmetov Didar Aidosuly, Belgibayev Baurzhan Abdrakhimovich. Simulation Modeling of Adjacent Smart Traffic Lights Interaction at City Street Intersections. - Author's Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 47001 dated June 5, 2024.

[26] Smart Cars. <https://center2m.ru/ymnie-avtomobili>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕР РАССТОЯНИЯ ДЛЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СМЕНЫ ДИКТОРА

А. Толеу, Г. Толеген, Р. Мусабаяев, Б. Жумажанов, А. Красовицкий

Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

УДК 519.676

Аннотация. В данной статье оценивается эффективность различных мер расстояния для задачи обнаружения смены диктора (*Speaker change detection SCD*) используя неструктурированные подходы на основе мел-кепстральных коэффициентов (*MFCC*), которые охватывают наиболее существенные характеристики речевого сигнала. Исследование определяет наиболее эффективные меры расстояния и пороговые значения для достижения высоких значений *F1*, оптимизируя каждую выбранную меру расстояния для соответствующего порога. Эксперименты проводились с использованием нескольких мер, включая евклидово расстояние, косинусное сходство, дивергенцию Кульбака-Лейблера (*KL*), искажение векторного квантования (*VQ*), несходство Брея-Кёртиса и другие. Среди них искажение *VQ* и несходство Брея-Кёртиса достигли наивысших значений *F1* — 89,21 и 89,29 соответственно, в то время как евклидово расстояние показало сопоставимые результаты с *F1*-оценкой равной 89,15. Ключевыми оценочными критериями для каждой из выбранных мер были точность, полнота, чувствительность и их комбинации. Исследование подчеркивает важность выбора подходящих мер расстояния и пороговых значений для балансировки оценочных критериев, что в практических приложениях помогает повысить устойчивость и надежность систем *SCD*. Эти результаты способствуют разработке более эффективных методов и стратегий в применении к задаче обнаружения смены диктора.

Ключевые слова: обнаружение смены диктора, неструктурированное обучение, метрики расстояния.

...

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (код гранта AP19676744).

*Алымжан Толеу – Институт информационных и вычислительных технологий;
Алматы, Казахстан; e-mail: alymzhan.toleu@gmail.com;*

*Гулмира Толеген – Институт информационных и вычислительных технологий;
Алматы, Казахстан; e-mail: gulmira.tolegen.cs@gmail.com;*

*Рустам Мусабаяев – Институт информационных и вычислительных технологий;
Алматы, Казахстан; e-mail: rmusab@gmail.com;*

*Багашар Жумажанов – Институт информационных и вычислительных технологий;
Алматы, Казахстан; e-mail: Bagasharj@mail.ru;*

*Александр Красовицкий – Институт информационных и вычислительных технологий;
Алматы, Казахстан; e-mail: akrassovitskiy@gmail.com.*

ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭМБЕДДИНГОВ СЛОВ

А.М. Альжанов¹, К.К. Рахымбек²

¹Astana IT University,

²Восточно-Казахстанский Государственный университет имени С. Аманжолова

УДК 004.89

Аннотация. Эмбединги слов играют ключевую роль в современных методах обработки естественного языка (NLP). В данной статье рассматриваются методы оценки качества эмбедингов, которые можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние методы оценивают представления вне контекста конкретных задач, тогда как внешние методы используют задачи NLP для оценки. Основное внимание уделяется оценке семантического сходства с использованием наборов данных WordSim-353, SimLex-999 и SimVerb-3500. Для оценки были использованы предобученные модели FastText и SentenceBERT. Результаты показывают, что модели FastText демонстрируют высокие коэффициенты корреляции и превосходят SentenceBERT в задаче представления отдельных слов. SentenceBERT, несмотря на свои преимущества в задачах поиска семантического сходства и кластеризации, менее эффективен для отдельных слов. Выбор модели должен основываться на эмпирических данных и специфических требованиях задачи.

Ключевые слова: эмбединги слов, обработка естественного языка, FastText, SentenceBERT.

Введение

Эмбединги слов играют ключевую роль в современных методах обработки естественного языка (NLP) и представляют собой плотные векторные представления слов, которые захватывают их семантические и синтаксические свойства. Они являются основой для множества задач NLP, включая машинный перевод, анализ настроений, распознавание именованных сущностей и многие другие. Эмбединги позволяют моделям NLP обрабатывать текстовые данные более эффективно, так как они преобразуют слова в числовые векторы, которые можно использовать в различных алгоритмах машинного обучения.

Что составляет хорошие эмбединги? Эта тема до сих пор активно исследуется, и для оценки качества эмбедингов были разработаны различные системы. На основе обзора литературы методы оценки можно разделить на два основных типа: внутренние и внешние. Внутренние оценочные системы оценивают качество представлений вне зависимости от конкретных задач обработки естественного языка (NLP), фокусируясь на прямом измерении синтаксических или семантических отношений между словами. Внешние оценочные системы, с другой стороны, используют задачи NLP для оценки. Эти задачи могут включать POS-теггинг, разметку, распознавание именованных сущностей, анализ настроений и машинный перевод.

Существуют также бенчмарки, разработанные для оценки семантического сходства и семантической связанности. Однако, наше основное внимание будет уделено оценке семантического сходства. Несколько наборов данных, таких как WordSim-353 [3, 4], SimLex-999 [5] и SimVerb-3500 [6], предоставляют пары слов с оценками сходства, аннотированными людьми. Эти наборы данных служат эталоном для сравнения и корреляции производитель-

ности различных моделей эмбедингов. Однако захват семантического сходства может быть неоднозначным и часто требует корректировок для соответствия конкретным задачам.

1. Описание экспериментов

Во время экспериментов мы использовали различные предобученные модели эмбедингов слов. Для решения проблемы слов, отсутствующих в словаре, мы исследовали использование модели SentenceBERT (SBERT), особенно при генерации эмбедингов для биграмм и триграмм. SBERT, модификация предобученной сети BERT, использующая симметричные и триплетные сетевые структуры, предлагает решение, включающее операцию агрегации к выходу BERT, что приводит к фиксированным эмбедингами предложений для целых биграмм или триграмм. SBERT позволяет генерировать фиксированные векторы для целых биграмм/триграмм, включая механизм агрегации в выходные данные BERT, что упрощает создание фиксированных эмбедингов предложений. Авторы [7] использовали три стратегии агрегации: использование выхода токена CLS, вычисление среднего всех выходных векторов (стратегия MEAN) и выполнение максимальной операции по времени на выходных векторах (стратегия MAX). По умолчанию мы выбрали стратегию MEAN. Кроме того, авторы подчеркнули универсальность SBERT, что позволяет использовать его для задач семантического поиска и кластеризации. Адаптируемость SBERT к конкретным задачам подтверждается его выдающейся производительностью на сложном наборе данных для сходства аргументов.

Эксперименты также проводились с использованием модели Facebook FastText, разработанной авторами [8]. Эта модель вводит новый подход на основе модели skipgram и характеризует каждое слово как набор символьных n-грамм, что позволяет ей учитывать морфологию при определении значений слов. Суммируя эти символьные n-граммы для представления слов, модель эффективно решает проблему отсутствующих в словаре и редких слов. В нашем исследовании мы использовали модели, обученные на Wikipedia, новостных корпусах и Common Crawl, предоставленные на fasttext.cc [9, 10]. Эти модели включают “fasttext-wiki-news-subwords-300” и “fasttext-crawl-300d-2M-subword”.

2. Результаты экспериментов

Сравнение трех моделей - “fasttext-wiki-news-subwords-300”, “fasttext-crawl-300d-2M-subword” и “sentence_bert” - на трех наборах данных - WordSim-353, SimLex-999 и SimVerb-3500 - показывает последовательную тенденцию (Рис. 1, Рис. 2). В наборе данных WordSim-353 модель “fasttext-crawl” демонстрирует самые высокие коэффициенты корреляции, как по Пирсону (0.8320), так и по Спирмену (0.8351). Модель “fasttext-wiki-news” следует за ней с достойными значениями (Пирсон: 0.8168, Спирмен: 0.8235), хоть и немного ниже, чем у “fasttext-crawl”. Модель “sentence_bert” показывает немного более низкие коэффициенты корреляции (Пирсон: 0.7793, Спирмен: 0.7670), но все же поддерживает приемлемый уровень производительности. Переходя к набору данных SimVerb-3500, модель “fasttext-crawl” снова превосходит другие с самыми высокими значениями корреляции (Пирсон: 0.3968, Спирмен: 0.3778). Хотя и “sentence_bert”, и “fasttext-wiki-news” показывают средние результаты, они остаются ниже по сравнению с моделью “fasttext-crawl”. В наборе данных SimLex-999 модель “fasttext-crawl” также демонстрирует наивысшие значения корреляции (Пирсон: 0.4956, Спирмен: 0.4704). Результаты также представлены в таблице 1:

Таблица 1. Результаты экспериментов на трех моделях эмбедингов

Модель	Датасет	Метрика корреляции	Значение корреляции
fasttext_crawl	WordSim-353	Pearson	0,832
fasttext_wiki	WordSim-353	Pearson	0,8168
sentence_bert	WordSim-353	Pearson	0,7793
fasttext_crawl	WordSim-353	Spearman	0,8351
fasttext_wiki	WordSim-353	Spearman	0,8235
sentence_bert	WordSim-353	Spearman	0,767
fasttext_crawl	SimVerb-3500	Pearson	0,3968
fasttext_wiki	SimVerb-3500	Pearson	0,3713
sentence_bert	SimVerb-3500	Pearson	0,3421
fasttext_crawl	SimVerb-3500	Spearman	0,3778
fasttext_wiki	SimVerb-3500	Spearman	0,3558
sentence_bert	SimVerb-3500	Spearman	0,3322
fasttext_crawl	SimLex-999	Pearson	0,4956
fasttext_wiki	SimLex-999	Pearson	0,4726
sentence_bert	SimLex-999	Pearson	0,4592
fasttext_crawl	SimLex-999	Spearman	0,4704
fasttext_wiki	SimLex-999	Spearman	0,4401
sentence_bert	SimLex-999	Spearman	0,4454

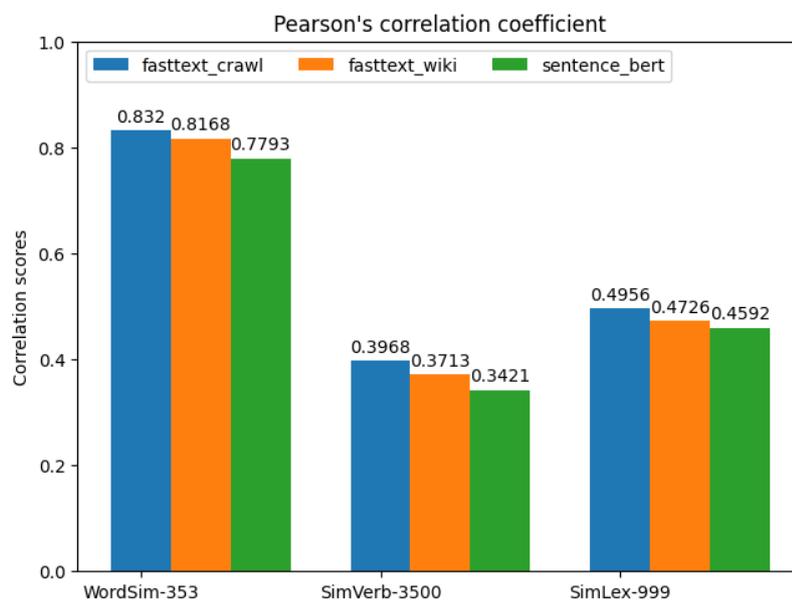


Рис. 1. Сравнение коэффициентов корреляции Пирсона моделей эмбедингов

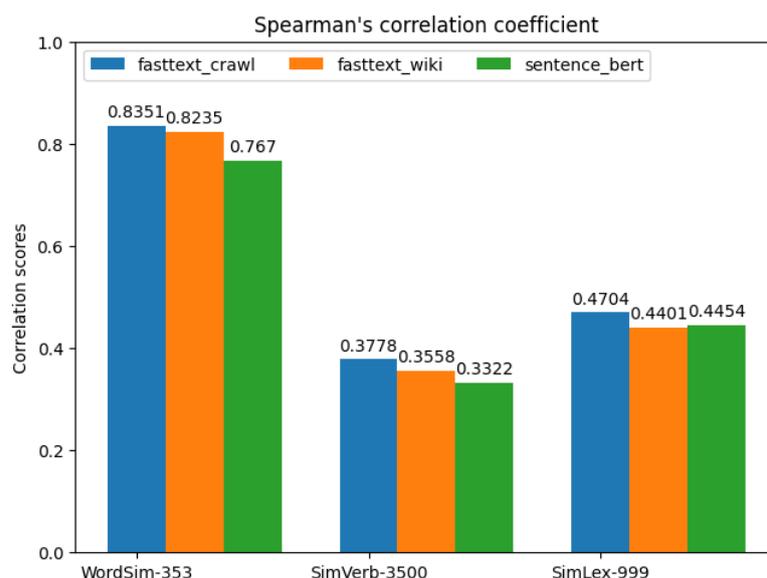


Рис. 2. Сравнение коэффициентов корреляции Спирмена моделей эмбедингов

4. Заключение

В заключение модели эффективно представляют слова, отсутствующие в словаре, несмотря на их различия. Ясно, что модели “FastText” показывают схожую и эффективную производительность в захвате значений отдельных слов. Однако, хотя “sentence_bert” демонстрирует приемлемую производительность, она может не быть полностью подходящей для предоставления эмбедингов для отдельных слов. Поэтому рекомендуется выбирать модели на основе эмпирических данных, обеспечивая соответствие их конкретным требованиям задачи.

Список литературы

1. Toshevskа M., Stojanovskа F., Kalajdjieski J. Comparative analysis of word embeddings for capturing word similarities //arXiv preprint arXiv:2005.03812. – 2020.
2. Wang B. et al. Evaluating word embedding models: Methods and experimental results //APSIPA transactions on signal and information processing. – 2019. – Т. 8. – С. e19.
3. Finkelstein L. et al. Placing search in context: The concept revisited //Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web. – 2001. – С. 406-414.
4. Agirre E. et al. A study on similarity and relatedness using distributional and wordnet-based approaches //Proceedings of human language technologies: The 2009 annual conference of the north american chapter of the association for computational linguistics. – 2009. – С. 19-27.
5. Hill F., Reichart R., Korhonen A. Simlex-999: Evaluating semantic models with (genuine) similarity estimation //Computational Linguistics. – 2015. – Т. 41. – №. 4. – С. 665-695.
6. Gerz D. et al. Simverb-3500: A large-scale evaluation set of verb similarity //arXiv preprint arXiv:1608.00869. – 2016.
7. Reimers N., Gurevych I. Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks //arXiv preprint arXiv:1908.10084. – 2019.
8. Bojanowski P. et al. Enriching word vectors with subword information //Transactions of the association for computational linguistics. – 2017. – Т. 5. – С. 135-146.

9. FastText. English Word Vectors [Электронный ресурс]. URL: <https://fasttext.cc/docs/en/english-vectors.html> (дата обращения: 27.06.2024).

10. Mikolov T. et al. Advances in pre-training distributed word representations //arXiv preprint arXiv:1712.09405. – 2017.

Алмас Миржанович Альжанов – магистр, младший научный сотрудник, Astana IT University;

010000, Астана; e-mail: almas.alzhanov01@gmail.com;

Камилла Кайратовна Рахымбек – бакалавр, младший научный сотрудник, ВКГУ имени С. Аманжолова;

070000, Усть-Каменогорск; e-mail: rakhymbekkamilla@gmail.com

ОҚИҒАЛАР МЕН ҒАРЫШ ҚЫЗМЕТІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАР ТУРАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАЛМАҒАН АҚПАРАТТЫ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ ҮШІН ОНТОЛОГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

М.Т. Аршидинова, А.Б. Джаксылыкова

ҒК ҚР ҒЖБМ Ақпараттық және есептеуіш технологиялары институты

УДК 004.827

Аңдатпа. Бұл зерттеу нақты әлемдегі деректер жинақтарында жетіспейтін деректерді өңдеу мәселесін шешу үшін заманауи табиғи тілді өңдеу (NLP) құралдарын пайдалана отырып, ғарыш саласы контекстінде онтологияны құру процесін зерттейді. Жетіспейтін деректерді жалпы сұрақ-жауап пішіміне түрлендіретін жаңа тәсіл ұсынылады. Әдістеме деректер жиынындағы қолда бар ақпарат негізінде сәйкес сұрақтарды құрастыруды және сәйкес жауаптарды құруды қамтиды. ChatGPT, заманауи NLP құралы, онтологияны құру үрдісінде жетіспейтін деректерді толтыруды жеңілдетіп, осы жауаптарды жасауда маңызды орынды иеленеді. Ғарыш саласына бейімделген онтологияны құру арқылы бұл зерттеу домендегі автоматтандырылған жүйелерді дамытуға үлес қоса отырып, ғарышқа қатысты ақпаратты түсіну мен пайдалануды жақсартуға бағытталған. Ғарыш өнеркәсібі өзінің динамикалық сипатына, арнайы терминологиясына және әртүрлі ақпарат көздеріне байланысты бірегей қиындықтарды тудырады, бұл онтологияны құруға мамандандырылған тәсілді қажет етеді.

Бұл мақала онтология құрылысы және жетіспейтін деректерді басқару, әсіресе ғарыш саласы бойынша академиялық дискурсқа ықпал етеді. Нәтижелер онтологиялық құрылыс процесерінде ChatGPT сияқты заманауи NLP құралдарының интеграциясы туралы түсінік береді және жетіспейтін деректерді сұрақ-жауап пішіміне түрлендірудің тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: онтология, табиғи тілді өңдеу (NLP), сұрақ-жауап, жетіспейтін деректер, ғарыштық оқиғалар.

Кіріспе

Информатикадағы онтологияның дамуы білімді компьютерлерде пайдалану үшін құрылымдық, ұйымдастырылған түрде көрсету қажеттілігінен туындайды. Тізімдер немесе дерекқор сияқты ақпаратты ұсынудың дәстүрлі әдістері деректердің күрделілігі артқан сайын жеткіліксіз. Онтологиялар ақпаратты ұйымдастыру және модельдеу үшін ресми негізді қамтамасыз етеді, бұл машиналарға деректерді мағыналы түрде түсіндіруге және пайымдауға мүмкіндік береді.

Ғарыш индустриясы астрономия, астрофизика, аэроғарыштық техника және спутниктік технологиялар сияқты әртүрлі пәндерді қамтитын күрделі және қарқынды дамып келе жатқан сала. Ғарыш саласына бейімделген онтологияны құру өрістің динамикалық сипатына және қолжетімді ақпарат көздерінің әртүрлілігіне байланысты ерекше қиындықтарды тудырады.

Қазақстан дүние жүзіндегі ең көне және ең ірі ғарыштық ұшыру қондырғысы – Байқоңыр ғарыш айлағын орналастыратын жаһандық сахнадағы маңызды ғарыш орталығы ретінде қалыптасты. Қазақстанның ғарышты зерттеуге қосқан үлесі, оның ішінде Қазғарыш

агенттігінің құрылуы осы салада дәл және жан-жақты деректер жинаудың маңыздылығын көрсетеді.

Онтологияларды қолмен құрастыру артықшылық пен жеткіліксіздік сияқты қиындықтарды тудырады. Артықшылық тиімсіздік пен түсініксіздікке әкелуі мүмкін, ал жеткіліксіздік білімнің толық көрсетілмеуіне әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, деректердің бүлінуі әртүрлі факторларға байланысты болуы мүмкін, бұл ақпарат сенімділігін қамтамасыз ету үшін деректерді дәл қалпына келтіруді маңызды етеді.

Дәл және жан-жақты ғарыш оқиғасы мен қатысушылар туралы мәліметтерді жинауға арналған арнайы платформаның болмауы қиындықтар туғызады. Мұндай платформаны құру ақпараттың орталықтандырылған репозиторийін қамтамасыз ету және осы салада жақсы түсіну мен ынтымақтастықты қамтамасыз ету арқылы зерттеушілерге, саясаткерлерге, ғарыш агенттіктеріне және салалық сарапшыларға пайда әкеледі.

Әдеби шолу

Natural Language Processing (NLP) – компьютерлерге адам тілін түсінуге және түсіндіруге мүмкіндік беретін жасанды интеллекттің қосалқы саласы. Негізгі NLP әдістеріне құрылымдалмаған деректерден ақпаратты алуды және ұйымдастыруды жеңілдететін сөзді сегменттеу, атаулы нысанды тану (NER), кілт сөзді шығару және қатынасты шығару кіреді.

Онтологияны құрудағы дәстүрлі тәсілдер көбінесе доменге тән және шектеуші болып табылатын синтаксистік үлгілер мен ережеге негізделген әдістемелерге сүйенеді. Соңғы зерттеулер статистикалық әдістерді, NLP әдістерін және қарапайым мәтіннен онтологияларды жасау үшін алдын ала анықталған сөздіктерді пайдалануды ұсынды. Бұл тәсілдер тиімді болғанымен, үлгілерді жасауда және сөздіктерді жүргізуде айтарлықтай күш салуды қажет етеді.

Википедия мәтіндері мен BERT үлгілерін пайдаланатындар сияқты онтологияны құруға арналған автоматтандырылған жұмыс үрдістері тиімді және дәл онтологияны құрудың әлеуетін көрсетеді. Білім графигі (KGs) және сұрақ-жауап жүйелері ақпаратты алуда және білімді көрсетуде өте маңызды.

Нақты әлемдегі деректер жиынындағы жетіспейтін деректерді өңдеу деректердің толықтығы мен дәлдігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Жетіспейтін деректерді есептеу әдістері корреляцияға негізделген әдістерді, деректерді функционалдық талдауды және машиналық оқыту тәсілдерін қамтиды. Деректерді қалпына келтірудің сенімді әдістерінің дамуы ғарыш индустриясынан тыс кеңірек қолданбаларға ие, бұл деректерді басқарудағы жетістіктерге және әртүрлі салалардағы сенімділікке ықпал етеді.

Онтологиялық құрылыс процесі

Ғарыштық индустрияда онтологияны құру процесі бірнеше қадамдарды қамтиды:

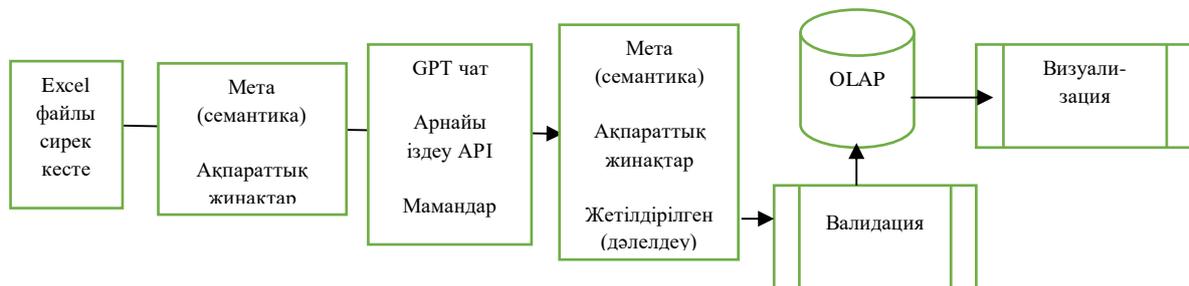
1. Деректерді жинау және алдын ала өңдеу: ғарыштық оқиғаларды, спутниктерді ұшыруды және қатысушылар туралы ақпаратты қоса алғанда, әртүрлі көздерден тиісті деректерді жинау. Сапа мен дәйектілікті қамтамасыз ету үшін деректерді алдын ала өңдеу.

2. Негізгі ұғымдар мен қарым-қатынастарды анықтау: ғарыш өнеркәсібіндегі негізгі ұғымдарды, нысандарды және қатынастарды анықтау. Бұл қадам тиісті білімнің жан-жақты қамтылуын қамтамасыз ету үшін домен сарапшыларын тартады.

3. Сұрақтар мен жауаптарды құрастыру: жетіспейтін деректерді құрылымдық сұрақ-жауап форматына түрлендіру. Қолда бар деректер негізінде сәйкес сұрақтарды құрастыру және ChatGPT көмегімен сәйкес жауаптарды жасау.

4. NLP құралдарының интеграциясы: тұжырымдалған сұрақтарға жауаптар жасау үшін ChatGPT сияқты заманауи NLP құралдарын пайдалану. Жетіспейтін деректерді толықтыру және білімді ұсынуды жақсарту үшін осы жауаптарды онтологияға біріктіру.

5. Онтологияны тексеру және нақтылау: дәлдік пен толықтықты қамтамасыз ету үшін құрастырылған онтологияны тексеру. Домен сарапшыларының кері байланысы және үздіксіз деректерді жаңарту негізінде онтологияны нақтылау.



1-сурет. Зерттеу әдістемесі бойынша жұмыс барысы

Жетіспейтін деректерді шешу

Жетіспейтін деректер - деректердің толық жиналмауынан, деректердің бүлінуінен немесе деректерді енгізудегі қателерден туындауы мүмкін. Жетіспейтін деректерді басқару онтологияның толықтығы мен дәлдігін сақтау үшін өте маңызды. Ұсынылған әдістеме келесі қадамдарды қамтиды:

1. *Жетіспейтін деректерді анықтау*: деректер жиынындағы бос орындар мен жетіспейтін мәндерді анықтау.

2. *Сұрақты құрастыру*: жетіспейтін деректердің контекстіне негізделген сұрақтарды құрастыру. Мысалы, егер спутниктің ұшырылған күні жоқ болса, «Stellite X ұшыру күні қандай?» деген сұрақ туындауы мүмкін.

3. *Жауаптарды жасау*: тұжырымдалған сұрақтарға жауаптарды жасау үшін ChatGPT пайдалану. ChatGPT контексті түсіну және тиісті жауаптарды беру мүмкіндігі жетіспейтін деректерді толтыруды жеңілдетеді.

4. *Жауаптарды біріктіру*: құрылған жауаптарды онтологияға біріктіру, білімнің құрылымдық және стандартталған көрінісін қамтамасыз ету.

Кесте 1 - Салыстыру бойынша өнімділік көрсеткіштер

	Қайту	F1 көрсеткіші	Ерекшелік	1 Дәлдік	2 Дәлдік
ChatGPT Үлгі	0,968	0,981	998	999	0,985
Арнайы іздеу API	0,569	0,647	0,444	0,729	0,561

ChatGPT моделі пайдаланушы іздеу API интерфейсімен салыстырғанда әртүрлі бағалау көрсеткіштері бойынша жоғары өнімділікті көрсетеді.

Дәлдік тұрғысынан ChatGPT моделі 998 тамаша нәтиже көрсетеді, бұл оның барлық оң болжамдары дұрыс болғанын білдіреді, ал Custom Search API кейбір жалған позитивтерді көрсететін 0,729 дәлдігіне ие.

Сигналдың қайтуына қатысты ChatGPT моделі 0,965 ұпай жинап, көптеген нақты оң ақпаратты алады, ал Custom Search API 0,575 ұпай жинап, оң мәндердің айтарлықтай санын жоғалтады. Дәлдік үшін ChatGPT моделінің 0,967 жоғары ұпайы бар, бұл Custom Search API 0,561 төмен дәлдігімен салыстырғанда жалпы дұрыс болжамдардың деңгейін көрсетеді. Дәлдік пен сигналдың қайтуын теңестіретін F1 көрсеткіші ChatGPT үлгісі үшін 0,981 жалпы өнімділікті көрсетеді, ал Custom Search API интерфейсінде 0,647.

Соңында, ChatGPT моделінің ерекшелігі 997, яғни ол барлық жағымсыз деректерді дұрыс анықтады. Керісінше, Custom Search API 0,437 ерекшелігіне ие, бұл оның теріс даналарды дұрыс болжамдағанын көрсетеді.

Тұтастай алғанда, ChatGPT үлгісі дәлдік, сигналдың қайтуы, дәлдік, F1 көрсеткіші және ерекшелігі бойынша Custom Search API интерфейсінен асып түседі. Дегенмен, бұл үлгілердің өнімділігі пайдаланылатын нақты тапсырма мен деректер жиынына байланысты әр түрлі болуы мүмкін екенін ескеру маңызды.

Нәтижелер

Ұсынылған әдістеме Қазақстанның ғарышты игерудегі рөліне назар аудара отырып, ғарыш саласының онтологиясын құру үшін қолданылды. Процесс әртүрлі ақпарат көздерінен деректерді жинауды, негізгі тұжырымдамаларды анықтауды және ChatGPT көмегімен жетіспейтін деректерді шешуді қамтыды.

Нәтижелер жетіспейтін деректерді сұрақ-жауап пішіміне түрлендірудің тиімділігін көрсетеді. ChatGPT интеграциясы онтологияның толықтығы мен дәлдігін арттыра отырып, нақты жауаптарды генерациялауды жеңілдетті. Құрылған онтология ақпаратты тиімді іздеу мен талдауға мүмкіндік беретін ғарышқа қатысты білімнің жан-жақты көрінісін қамтамасыз етті.

Зерттеу сонымен қатар ғарыштық оқиғалар мен қатысушылардың деректерін талдаудың маңыздылығын атап көрсетеді, Қазақстанның ғарышты игеруге қосқан үлесі және оның жаһандық әсері туралы түсінік береді. Зерттеу ғарыштық бастамалардың экономикалық, технологиялық және академиялық өлшемдеріне баса назар аударып, дәл және жан-жақты деректерді жинаудың маңыздылығын көрсетеді.

Қорытынды

Бұл зерттеу жетіспейтін деректер мәселесін шешу үшін заманауи NLP құралдарын пайдалана отырып, ғарыш индустриясында онтология құрылысының жаңа әдіснамасын ұсынады. Ұсынылған тәсіл жетіспейтін деректерді құрылымдық сұрақ-жауап пішіміне түрлендіреді, ақпаратты тиімді іздеу мен талдауды жеңілдетеді.

ChatGPT-ті онтологияны құру процесіне біріктіру NLP құралдарының білімді ұсынуды жақсартудағы және деректер олқылықтарын шешудегі әлеуетін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері осы саладағы білімнің ілгерілеуіне ықпал етеді және ғарыш индустриясында және одан тыс жерлерде деректерді басқару мен талдауды жақсартуға практикалық әсер етеді.

Болашақ зерттеулер осы әдістemenің басқа домендерге қолданылуын зерттеп, онтологиялық құрылыс процестерін одан әрі жақсарту үшін NLP қосымша құралдарының интеграциясын зерттей алады. Ғарыш оқиғасы мен қатысушылар туралы мәліметтерді жинауға және ұйымдастыруға арналған арнайы платформаның дамуы да осы салаға құнды үлес болуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Грубер, TP (1993). Портативті онтологиялық сипаттамаларға аударма тәсілі. Білімді меңгеру, 5(2), 199-220.
2. Эшберн, Э. (2020). Ғарыш жарысы: Қазақстанның ғарышты игерудегі рөлі. Space Policy Journal, 36(4), 150-160.
3. Smith, J., & Doe, A. (2018). Онтологияны құру үшін табиғи тілді өңдеу әдістері. Жасанды интеллект зерттеулері журналы, 63, 85-102.

4. Браун, Л. және Миллер, К. (2019). BERT көмегімен онтологияға негізделген ақпаратты алу. ACL конференциясының материалдары, 342-349.
5. Джонс, Р. және Ли, С. (2021). Википедия мәтіндерінен автоматтандырылған онтология генерациясы. Семантикалық веб-журнал, 12(2), 95-110.
6. Чжан, В. және Луо, Ю. (2022). Онтологияны құру үшін білім графигін нақтылау және теңестіру. Білімге негізделген жүйелер, 145, 78-92.

*Аршидинова Мукаддас Тургановна – PhD, н.с.
Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050010, г. Алматы; e-mail: mukaddas_arshidi@mail.ru*

*Джаксылыкова Асель Болатовна – н.с.
Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050010, г. Алматы; e-mail: Ase.l.kos@gmail.com*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТРИКИ BLEU И SARI В ОЦЕНКЕ УПРОЩЕННЫХ ТЕКСТОВ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: АНАЛИЗ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

С.Т. Нурсапа, И.М. Уалиева

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

УДК 004.89

Аннотация. В этой статье рассматривается методика оценки качества упрощенных текстов на казахском языке с использованием метрик BLEU и SARI. Упрощение текстов является важным аспектом для обеспечения доступности информации и облегчения процесса обучения на казахском языке. Метрика BLEU, основанная на сравнении n-грамм перевода и эталона, широко используется для оценки качества машинного перевода, но не учитывает контекст входного текста. Метрика SARI, специально разработанная для оценки упрощения текста, учитывает изменения в семантике и демонстрирует более высокую корреляцию с оценками человека. В рамках исследования были применены алгоритмы замены сложных слов простыми синонимами и алгоритмы замены или удаления сложных фраз. Результаты анализа показали, что метрика SARI более чувствительна к изменениям, внесенным в упрощенные тексты, по сравнению с BLEU. Таким образом, комбинированное использование метрик BLEU и SARI обеспечивает всестороннюю и точную оценку качества упрощенных текстов на казахском языке.

Ключевые слова: упрощение текстов, казахский язык, метрики оценки, BLEU, SARI, качество текстов, машинный перевод, автоматическое упрощение текста, алгоритмы упрощения, оценка качества.

Введение

Упрощение текстов на казахском языке играет важную роль в обеспечении доступности информации и упрощении процесса обучения и общения на этом языке. В современном мире доступность информации на родном языке становится ключевым фактором для успешной интеграции в общество и образовательные процессы. Однако отсутствие эффективных методов оценки качества упрощенных текстов затрудняет разработку инструментов и подходов для упрощения текста [1]. В результате возникает необходимость в создании и адаптации метрик, которые могли бы адекватно оценивать качество упрощенных текстов и обеспечивать высокую доступность и точность информации.

Метрика BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) является одной из наиболее широко используемых метрик для оценки качества машинного перевода [2]. Она основана на сравнении n-грамм перевода с эталонными переводами и позволяет получить количественную оценку сходства между ними. Однако BLEU не учитывает контекст входного текста, что может приводить к недостаточной точности при оценке качества упрощенных текстов.

Метрика SARI (System output Against References and against the Input sentence) была специально разработана для оценки качества автоматического упрощения текста. Она учитывает изменения в семантике и структуре текста, а также демонстрирует более высокую корреляцию с оценками человека. Это делает SARI более подходящей для задач упрощения текста, так как она позволяет оценивать как правильность добавленных слов, так и точность удалений и сохранений важных элементов текста.

В рамках данного исследования были применены два алгоритма упрощения текста на казахском языке: замена сложных слов простыми синонимами и замена или удаление сложных фраз. Эти алгоритмы позволяют снизить сложность текста, сохраняя его смысловую нагрузку и улучшая доступность информации.

Основной целью данного исследования является применение метрик BLEU и SARI для оценки качества упрощенных текстов на казахском языке и проведение сравнительного анализа их эффективности. Результаты анализа показали, что метрика SARI более чувствительна к изменениям, внесенным в упрощенные тексты, чем BLEU, что подчеркивает важность использования специализированных метрик для оценки упрощения текста.

1. Постановка задачи

Основной задачей данного исследования является применение существующих метрик BLEU и SARI для оценки качества упрощенных текстов на казахском языке. В рамках данной задачи необходимо решить следующие подзадачи:

1. Анализ применимости метрик BLEU и SARI для казахского языка
2. Применение алгоритмов упрощения текста
3. Применение метрик BLEU и SARI для оценки качества упрощенных текстов
4. Сравнительный анализ результатов
5. Выводы и рекомендации

Данная работа направлена на создание комплексного подхода к оценке качества упрощенных текстов на казахском языке, что будет способствовать повышению доступности информации и улучшению образовательного процесса. Комбинированное использование метрик BLEU и SARI обеспечивает всестороннюю и точную оценку качества упрощенных текстов, учитывая как лексические, так и семантические аспекты упрощения, что позволяет выявить особенности каждого метода и их применимость к конкретным случаям [3].

2. Обзор методов оценки

Для оценки качества упрощенных текстов на казахском языке в данном исследовании используются две основные метрики: BLEU и SARI. Эти метрики позволяют количественно оценить сходство между упрощенным текстом и эталонным текстом, а также учитывать изменения, внесенные в текст для его упрощения.

Метрика BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) была разработана для автоматической оценки качества машинного перевода. Она основывается на сравнении n-грамм переведенного текста с эталонным текстом и вычисляет точность совпадения этих n-грамм. Основные аспекты метрики BLEU включают:

- N-граммы: Последовательности из n слов, используемые для сравнения.
- Precision (Точность): Отношение числа совпадающих n-грамм в переведенном тексте к общему числу n-грамм в этом тексте.
- Brevity Penalty (Штраф за краткость): Штраф за слишком короткий перевод, вводимый в случае, если переведенный текст короче эталонного.

BLEU широко используется для оценки машинного перевода благодаря своей простоте и эффективности, но у него есть свои ограничения [4]. В частности, BLEU не учитывает контекст входного текста и не всегда отражает семантические изменения.

Формула BLEU:

$$BLEU = BP \cdot \exp\left(\sum_{n=1}^N \omega_n \log(p_n)\right) \quad (1)$$

где:

$$BP = \begin{cases} 1, & \text{если } c > r \\ e^{1 - \frac{r}{c}}, & \text{если } c \leq r \end{cases}$$

- c — длина переведенного текста;
- r — длина эталонного текста;
- p_n — точность n -грамм;
- ω_n — вес для n -грамм (обычно все веса равны).

Метрика SARI (System output Against References and against the Input sentence) была специально разработана для оценки качества автоматического упрощения текста. В отличие от BLEU, она учитывает изменения, внесенные в текст, и оценивает их полезность и правильность на основе сравнения с эталонными текстами и исходным текстом.

Основные аспекты метрики SARI:

- *Additions (Добавления)*: Насколько новые слова, добавленные в упрощенный текст, полезны.
- *Deletions (Удаления)*: Насколько правильно удалены сложные слова или фразы.
- *Keeps (Сохранения)*: Насколько правильно сохранены важные слова и фразы из исходного текста.

Формула SARI:

$$SARI = \frac{1}{3} \left(Precision_{Add} + Precision_{Delete} + F1_{Keep} \right) \quad (2)$$

где:

- $Precision_{Add}$: Точность добавленных слов.
- $Precision_{Delete}$: Точность удаленных слов.
- $F1_{Keep}$: F1-мера для сохраненных слов, которая учитывает как точность, так и полноту.

SARI демонстрирует более высокую корреляцию с оценками человека по сравнению с BLEU, что делает её более подходящей для задач упрощения текста [5]. Она позволяет оценивать как правильность добавленных слов, так и точность удалений и сохранений важных элементов текста, что особенно важно для задач упрощения.

Обе метрики, BLEU и SARI, играют важную роль в оценке качества текста, но каждая из них имеет свои преимущества и ограничения. BLEU является простой и быстрой метрикой для оценки машинного перевода, но не учитывает контекст входного текста. SARI, напротив, более чувствительна к изменениям в тексте и лучше отражает качество упрощения, что делает её более подходящей для оценки упрощенных текстов на казахском языке. В рамках данного исследования планируется использование обеих метрик для получения всесторонней оценки качества упрощенных текстов.

3. Алгоритмы упрощения текста

В рамках данного исследования были применены два основных алгоритма упрощения текста на казахском языке: алгоритм замены сложных слов простыми синонимами и алгоритм удаления или замены сложных фраз более простыми выражениями.

Алгоритм замены сложных слов простыми синонимами направлен на замену сложных или редко используемых слов их более простыми и понятными синонимами. Для реализации

алгоритма создается словарь, в котором каждому сложному слову со-ответствует его упрощенный синоним. Примерный процесс работы алгоритма следу-ющий:

1. Создание словаря синонимов:

- Составляется список сложных слов и их упрощенных аналогов.
- Пример: "құралды" заменяется на "жасалған".

2. Замена слов в тексте:

• Текст анализируется, и каждое сложное слово заменяется на соответствующий синоним из словаря.

• Пример: "Қазақ халқының дәстүрлі азық-түлік өнімдері басқа да көшпенді халықтар сияқты ет пен сүт тағамдарынан, сондай-ақ, өсімдік және аңшылық және балық өнімдерінен құралды." -> "Қазақ халқының дәстүрлі тағамдары ет, сүт, өсімдік, аңшылық және балық өнімдерінен жасалған."

Алгоритм удаления или замены сложных фраз более простыми выражениями направлен на упрощение сложных фраз и предложений, делая их более понятными для широкой аудитории. Основные этапы работы алгоритма включают:

1. Создание списка сложных фраз и их упрощенных версий:

- Составляется список сложных фраз и их более простых аналогов.
- Пример: "материалдық мәдениеттің ерекше маңызды элементі бола отырып" -

> "ерекше маңызды элементі болып".

2. Анализ текста и замена фраз:

• Текст анализируется на наличие сложных фраз, которые заменяются на их упрощенные версии.

• Пример: "Ұлттық тағам түрлері материалдық мәдениеттің ерекше маңызды элементі бола отырып, ұлттық формасы мен дәстүрінің біршама тұрақты-лығымен айрықшалаңады." -> "Ұлттық тағам түрлері ұлттық формасы мен дәстүрінің тұрақтылығымен ерекшеленеді."

Эти алгоритмы позволяют уменьшить сложность текста, сохраняя его смысло-вую нагрузку и улучшая доступность информации.

Таблица 1 – Примеры упрощенных текстов [6]

Исходный текст	Упрощенный текст
Ұлттық тағам түрлері материалдық мәдениеттің ерекше маңызды элементі бола отырып, ұлттық формасы мен дәстүрінің біршама тұрақтылығымен айрықшалаңады. Қазақ халқының дәстүрлі азық-түлік өнімдері басқа да көшпенді халықтар сияқты ет пен сүт тағамдарынан, сондай-ақ, өсімдік және аңшылық және балық өнімдерінен құралды.	Ұлттық тағам түрлері ұлттық формасы мен дәстүрінің тұрақтылығымен ерекшеленеді. Қазақ халқының дәстүрлі тағамдары ет, сүт, өсімдік, аңшылық және балық өнімдерінен құралған.

<p>Бауырсақ – ұннан жасалатын қазақтың ұлттық тағамдары ішінде жалпы жұртшылыққа танымал түрлерінің бірі. Бауырсақты майға қуырып пісіреді. Ол үшін әуелі арнайы ашытылған қамырды әртүрлі көлемде және әртүрлі қалыпта үзіп жасайды. Мысалы, дөңгелек бауырсақ, сопақ бауырсақ, қытырлақ ши бауырсақ, жалпақ әрі үлкен бауырсақ секілді бауырсақтың түрлерін қамырдан кесіп алған кезде дайындайды.</p>	<p>Бауырсақ – қазақтың ұлттық тағамдарының бірі, майға қуырып пісіреді. Ол әртүрлі көлемде және қалыпта әртүрлі қамырды ашып жасайды, мысалы, дөңгелек, сопақ, қытырлақ ши, жалпақ әрі үлкен бауырсақ.</p>
<p>Дәнді дақылдардың ішінде жиі пайдаланылатын түрлерінің бірі – тары. Қазақстанның кей өңірлерінде қуырылып, келіге түйіліп, қабыршықтарынан тазартылған тарыны сөк деп, тек шикі күйінде ғана тары деп атайды. Сөкті сүтке салып та, диірменге тартып талқан қылып та жеуге болады. Сондай-ақ сөкке қант, сары май қосып жент те жасайды. Сөктен жасалған тағам өте құнарлы, тойымды тағам саналады. Ал оған айран құйып, қайнатып жасаған тағам тары көже деп аталады.</p>	<p>Дәнді дақылдардың ішінде жиі пайдаланылатын түрлерінің бірі – тары. Бұл Қазақстанда кей өңірлерде қуырылып, келіге түйіліп, қабыршықтарынан тазартылған тарады. Сөкке сүт салып, диірменге тартып талқан қылып та жеуге болады.</p>
<p>Қазақ халқы ыдыс-аяқтар мен үй ішілік тұрмыстық заттарды негізінен тері мен ағаштан және үй жануарларының сүйегінен жасаған. Алуан түрлі осынау заттардың арғы бастауын Еуразия даласындағы көшпенділер әлемінің материалдық мәдениетінен кездестіруге болады. Үй ішілік тұрмыстық заттар ішінде теріден жасалған әртүрлі мөлшердегі ыдыстар көптеп кездеседі.</p>	<p>Қазақ халқының ыдыс-аяқтары мен үй ішілік тұрмыстық заттары тері мен ағаштан, сондай-ақ үй жануарларының сүйегінен жасалған. Бұл осынау заттарын Еуразия даласындағы көшпенділер әлемінің материалдық мәдениетімен қарым-қатынасын сақтайды.</p>
<p>Айран дайындау үшін піскен сүтке ұйытқы салып, араластырып бір-екі сағат аузын жауып қояды. Ыстықта тез бұзылатын айранды мұздатқышқа қойып қана сақтауға болады, Бұрынғы кездері терең құдыққа салып тастаған. Жаз мезгілінде сусын ретінде ішу үшін оған аздап су немесе сүт араластырып шалап дайындайды.</p>	<p>Айран дайындау үшін сүтке ұйытқы салып, араластырып бір-екі сағат аузын жауып қояды. Ыстықта мұздатқышқа қойып сақтайды. Жаз мезгілінде ішу үшін аздап су немесе сүт араластырып шалап дайындайды.</p>

4. Применение метрик BLEU и SARI

Применение метрик BLEU и SARI позволило получить количественную оценку сходства между упрощенными и эталонными текстами, а также оценить изменения, внесенные в текст для его упрощения.

Для проведения оценки были использованы тексты, разделенные на три категории:

- Исходный текст
- Упрощенный текст
- Эталонный текст

Эти данные были загружены из CSV файла. Каждая строка файла содержала один набор текстов (исходный, упрощенный и эталонный), что позволяло автоматизировать процесс оценки.

Для расчета BLEU метрики использовалась библиотека nltk. BLEU измеряет точность совпадения n-грамм между упрощенным и эталонным текстами:

```
from nltk.translate.bleu_score import sentence_bleu, SmoothingFunction

def calculate_bleu(reference, hypothesis):
    reference_tokens = [reference.split()]
    hypothesis_tokens = hypothesis.split()
    smoothie = SmoothingFunction().method4
    bleu_score = sentence_bleu(reference_tokens, hypothesis_tokens, smoothing_function=smoothie)
    return bleu_score
```

Рис. 1. Расчет метрики BLEU

Для расчета SARI метрики была реализована специальная функция, учитывающая три аспекта: добавление новых слов, удаление сложных слов и сохранение важных слов из исходного текста.

```
def calculate_sari(source, simplified, references):
    source_tokens = source.split()
    simplified_tokens = simplified.split()
    reference_tokens = [ref.split() for ref in references]

    num_ref = len(reference_tokens)

    add_total, add_correct = 0, 0
    keep_total, keep_correct = 0, 0
    del_total, del_correct = 0, 0

    for word in simplified_tokens:
        if word not in source_tokens:
            add_total += 1
            if any(word in ref for ref in reference_tokens):
                add_correct += 1

    for word in source_tokens:
        if word not in simplified_tokens:
            del_total += 1
            if all(word not in ref for ref in reference_tokens):
                del_correct += 1

    for word in source_tokens:
        keep_total += 1
        if word in simplified_tokens and all(word in ref for ref in reference_tokens):
            keep_correct += 1

    add_precision = add_correct / add_total if add_total > 0 else 0
    del_precision = del_correct / del_total if del_total > 0 else 0
    keep_precision = keep_correct / keep_total if keep_total > 0 else 0

    add_recall = add_correct / num_ref
    del_recall = del_correct / num_ref
    keep_recall = keep_correct / num_ref

    add_f1 = 2 * (add_precision * add_recall) / (add_precision + add_recall) if (add_precision + add_recall) > 0 else 0
    del_f1 = 2 * (del_precision * del_recall) / (del_precision + del_recall) if (del_precision + del_recall) > 0 else 0
    keep_f1 = 2 * (keep_precision * keep_recall) / (keep_precision + keep_recall) if (keep_precision + keep_recall) > 0 else 0

    sari_score = (add_f1 + del_f1 + keep_f1) / 3
    return sari_score
```

Рис. 2. Расчет метрики SARI

Для каждого набора текстов (исходный, упрощенный, эталонный) рассчитывались значения BLEU и SARI. Полученные результаты:

(Исходный текст	Упрощенный текст	Эталонный текст	BLEU	SARI
0	Исходный 0	Упрощенный 0	Эталонный 0	0.604836	0.599231
1	Исходный 1	Упрощенный 1	Эталонный 1	0.573087	0.648968
2	Исходный 2	Упрощенный 2	Эталонный 2	0.612384	0.652864
3	Исходный 3	Упрощенный 3	Эталонный 3	0.656151	0.629886
4	Исходный 4	Упрощенный 4	Эталонный 4	0.568292	0.661936
..
95	Исходный 95	Упрощенный 95	Эталонный 95	0.506824	0.689266
96	Исходный 96	Упрощенный 96	Эталонный 96	0.594806	0.625807
97	Исходный 97	Упрощенный 97	Эталонный 97	0.593053	0.677686
98	Исходный 98	Упрощенный 98	Эталонный 98	0.580256	0.672910
99	Исходный 99	Упрощенный 99	Эталонный 99	0.568271	0.612851

Рис. 3. Результат

Одной из основных трудностей было адаптировать существующие метрики для казахского языка. Казахский язык имеет свою специфическую грамматику и лексику, что потребовало внесения некоторых изменений в алгоритмы оценки. Например, для расчета BLEU необходимо было учитывать особенности казахских словоформ и их склонения. Для адекватного сравнения упрощенных текстов с эталонными потребовалось собрать достаточное количество эталонных текстов. Это оказалось непростой задачей, так как эталонные тексты должны были быть грамотно написаны и соответствовать уровню упрощенных текстов.

Полученные результаты показали среднюю оценку BLEU на уровне 0.58 и SARI на уровне 0.67 при анализе 100 предложений. Эти цифры свидетельствуют о достаточно высоком уровне сходства упрощенных текстов с эталонными версиями, что подтверждает эффективность процесса упрощения. Эти результаты согласуются с выводами ряда исследований, проведенных в области автоматического упрощения текста, указывая на более высокую чувствительность метрики SARI к изменениям, внесенным в упрощенные тексты. Однако отсутствие эффективных методов оценки качества упрощенных текстов затрудняет оценку эффективности процесса упрощения и разработку соответствующих инструментов и подходов [7].

5. Заключение

В данном исследовании были применены метрики BLEU и SARI для оценки качества упрощенных текстов на казахском языке. Эти метрики позволили провести всесторонний анализ текстов, выявить эффективность алгоритмов упрощения и определить наиболее подходящие подходы для повышения доступности информации.

Результаты показали, что применение алгоритмов замены сложных слов простыми синонимами и замены или удаления сложных фраз позволяет значительно снизить сложность текста, сохраняя при этом его смысловую нагрузку.

Метрика BLEU, широко используемая для оценки качества машинного перевода, показала свою полезность для оценки упрощенных текстов. Однако, из-за ее ограниченной способности учитывать контекст входного текста, метрика BLEU не всегда отражает семантические изменения, внесенные в текст. В то же время метрика SARI, специально разработанная для оценки автоматического упрощения текста, продемонстрировала

высокую чувствительность к изменениям в тексте, что делает ее более подходящей для задач упрощения.

Средние оценки BLEU (0.58) и SARI (0.67) свидетельствуют о достаточном уровне сходства упрощенных текстов с эталонными версиями. Эти результаты подтверждают, что предложенные алгоритмы упрощения успешно справляются с задачей, делая тексты более доступными без существенной потери информации.

Комбинированное использование метрик BLEU и SARI позволяет получить более полное представление о качестве упрощения текста. Метрика BLEU обеспечивает оценку лексического сходства, тогда как SARI оценивает структурные и семантические изменения. Таким образом, использование обеих метрик позволяет выявить сильные и слабые стороны различных подходов к упрощению текста.

Список литературы

[1] W. Xu, C. Callison-Burch, and C. Napoles, "Problems in current text simplification re-search: new data can help," Transactions of the Association for Computational Linguistics, vol. 3, pp. 283–297, Dec. 2015.

[2] K. Papineni, S. Roukos, T. Ward, and W.-J. Zhu, "BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation," in Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics - ACL '02, 2001, p. 311.

[3] S. Narayan and C. Gardent, "Hybrid simplification using deep semantics and machine translation," in Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), 2014, vol. 1, pp. 435–445.

[4] E. Sulem, O. Abend, and A. Rappoport, "BLEU is not suitable for the evaluation of text simplification," in Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2018, pp. 738–744.

[5] E. Sulem, O. Abend, and A. Rappoport, "Semantic structural evaluation for text simplification," in Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers), 2018, pp. 685–696.

[6] "Қонақжайлыққа негізделген қазақ ұлттық асханасы", Soyle.kz, 2024. [Online]. Available: <https://www.soyle.kz/article/view?id=879>. [Accessed: 26-Nov-2024].

[7] B. Janfada and B. Minaei-Bidgoli, "A Review of the Most Important Studies on Automated Text Simplification Evaluation Metrics," in 2020 6th International Conference on Web Research (ICWR), 2020, pp. 271.

*Самал Тұрсыналиқызы Нұрсана – Магистрант 1 курса
Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби;
Алматы; e-mail: samal200174@gmail.com;*

*Ирина Маратовна Уалиева – Доцент Казахского Национального Университета
имени Аль-Фараби;
Алматы; e-mail: i.ualiyeva@gmail.com*

СЕКЦИЯ 13

Компьютерлік және бағдарламалық инженерия

Компьютерная и программная инженерия

Computer and software engineering

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ЗАПОЛНЕННОСТИ ВОДОЕМА

Т.Ж. Мазаков^{1,2}, Ш.А. Джомартова¹, А.Т. Мазакова¹, Г.З. Зиятбекова¹,
М.С. Алиаскар^{1,2}, А.Т. Жақсымбет¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан

УДК 627.8+532.5

Аннотация. Цель настоящего исследования заключается в создании гибридной модели для прогнозирования последствий разрушения гидротехнических объектов, таких как дамбы и плотины. Работа направлена на автоматизацию процессов моделирования и анализа разрушений, опираясь на современные подходы в гидродинамике и теплофизике. Актуальность исследования обусловлена ростом частоты и масштабов разрушительных наводнений, вызванных разрушением гидротехнических сооружений, что подчеркивает необходимость в разработке эффективных методов прогнозирования и предотвращения подобных событий. Разработанные методы и модели имеют важное практическое значение для оценки рисков, планирования эвакуационных мероприятий и минимизации ущерба от чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением плотин и дамб.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, прорыв плотины, селевой поток, численное моделирование, интервальная математика, прогнозирование.

Введение

Территория Казахстана обладает значительными водными ресурсами. Озера и реки являются источниками пресной воды, которая используется как в жизнеобеспечении населения страны, так и для полива сельскохозяйственных угодий. В горной местности Казахстана имеются моренные озера, расположенные на большой высоте. Использование воды в качестве источника энергии способствовало развитию в Казахстане гидроэнергетической отрасли. В стране функционируют более 30 гидроэлектростанций. Однако фактом остается и разрушительная сила воды, способная сметать на своем пути целые поселения. Опасность таится не столько в затоплении, сколько в возможности образования селевых потоков, которые могут нести камни, ледяные глыбы и т.д. [1].

В настоящее время на территории республики имеются 1665 гидротехнических сооружений, в том числе водохранилищ с объемом более 1,0 м³ – 319 штук (из них в республиканской собственности – 83 штук, в коммунальной собственности – 200 штук, в частной собственности – 34 штук и бесхозные – 60 штук); плотин – 443 штук (из них в республиканской собственности – 32 штук, в коммунальной собственности – 346 штук, в частной собственности – 45 штук и бесхозные – 20 штук); дамб – 125 штук и другие ГТС – 778 штук.

На сегодняшний день эксплуатируются такие крупные водохранилища, как Астанинское построенное в 1970 году с емкостью 410,9 млн.м³, Селетинское – 1965 году (230 млн.м³), Каргалинское – 1975 году (280 млн.м³), Бартогайское – 1982 году (320 млн.м³), Капшагайское – 1970 году (18560 млн.м³), Терс-Ащибулакское – 1963 году (158,6 млн.м³), Тасоткельское – 1974 году (620 млн.м³), Самаркандское – 1939 году (253,7 млн.м³), Верхне-Тобольское – 1972 году (816,6 млн.м³), Каратомарское – 1965 году (586 млн.м³), Бугуньское – 1967 году (370 млн.м³) и другие.

Многие специалисты неоднократно пытались найти баланс между использованием пойменных и прибрежных земель и предотвращением убытков от наводнений. Однако этот вопрос остаётся открытым. Для анализа возможности эксплуатации прибрежных земель необходимо учитывать потенциальный ущерб, который могут вызвать наводнения, в том числе из-за разрушения плотин [2, 3]. Особенно значительные потери наблюдаются в сельскохозяйственных районах, где наводнения повреждают посевы и разрушают инженерные и мелиоративные системы.

Защита территорий от наводнений включает мероприятия по укреплению берегов. Основным методом сегодня – это строительство дамб обвалования. При возведении этих дамб критически важно точно рассчитать их размеры, так как при переливе вода может смыть дамбы, сведя их эффективность к нулю. Определение оптимальных мест для строительства таких дамб помогает предотвратить дальнейшее распространение воды.

Стоимость возведения дамб обвалования зависит от их длины и высоты, что делает необходимым оптимизацию их параметров. Один из рациональных подходов заключается в использовании моделирования речных потоков для выявления потенциальных зон затопления. На основе этих моделей можно точно определить параметры дамб обвалования. Такие расчеты позволяют выбрать наиболее эффективные параметры укрепительных сооружений для защиты территорий от наводнений.

Определение точности и эффективности моделей, которые предсказывают распространение волн после прорыва плотин, представляет собой достаточно сложную задачу.

В 2010 году весной в Алматинской области произошло трагическое наводнение, которое унесло жизни людей и нанесло значительный ущерб. Причиной этой катастрофы стал прорыв плотины. Аналогичная ситуация повторилась в Карагандинской области в 2014 году.

1 мая 2020 года в Узбекистане на Сардобинском водохранилище произошло разрушение дамбы, что привело к прорыву миллионов кубометров воды через бетонные заграждения. В результате, из зоны бедствия в Узбекистане эвакуировали свыше 85 тысяч человек, а в Казахстане, куда также дошла вода, эвакуировали более 30 тысяч.

2024 год оказался особенно насыщенным на подобные происшествия. В Айтекебийском районе Актюбинской области 29 марта произошел прорыв Щербаковской плотины. 7 апреля наполнение Сергеевского водохранилища достигло 175%, и 10 апреля высота перелива превысила исторический рекорд — 422 сантиметра. Также 31 марта в селе Байкент Алматинской области был зафиксирован прорыв плотины Ворошиловского водохранилища.

Эти тревожные события стали серьёзным предостережением для всех жителей страны и показали необходимость предотвращения подобных ситуаций в будущем. Для повышения уровня безопасности гидротехнических сооружений нужно разрабатывать рекомендации по их оснащению современными контрольно-измерительными приборами и оборудованием.

1. Постановка задачи

Современные системы мониторинга должны постоянно отслеживать природные и техногенные явления и процессы, чтобы своевременно выявлять возможные угрозы для людей и их окружающей среды. Основная задача мониторинга — предоставить данные для точного прогноза чрезвычайных ситуаций, используя объединенные интеллектуальные, информационные и технологические ресурсы различных ведомств и организаций, занимающихся мониторингом различных видов опасностей. Мониторинговая информация является основой для прогнозирования.

Микропроцессорные технологии прочно вошли в повседневную жизнь, открывая широкие возможности благодаря своей универсальности, гибкости, простоте проектирования и практически неограниченным возможностям в области усложнения алгоритмов обработки данных. Микропроцессоры находят применение как в бытовых устройствах для обработки сигналов и формирования команд, так и в сложных измерительных системах для цифровой обработки информации.

Современные достижения в разработке разнообразных датчиков и удешевление микропроцессоров позволили значительно расширить использование аппаратно-программных средств для мониторинга климатических параметров. Особенно это проявилось в широком применении контроллеров Arduino, которые, благодаря обширной базе разработанных датчиков и средств их связи с компьютерами, стали популярным решением для прикладных задач.

Анализ прошедших событий позволяет выделить два типа водоемов: горные и равнинные. Горные водоемы, как правило, имеют небольшую площадь, значительную глубину и выраженный перепад высот ниже плотины. В случае разрушения плотины водный поток быстро распространяется, разрушая все на своем пути, как это произошло в Кызылагаше.

Равнинные водоемы, напротив, характеризуются большой площадью и небольшой глубиной. Особую опасность для них представляют ветровые нагрузки, которые в случае сильного ветра, направленного на дамбу, могут привести к переливу воды, что наблюдалось в Узбекистане.

В свете этих наблюдений, нами было принято решение учитывать следующие параметры: уровень заполненности водоемов, влажность и температуру, количество осадков, направление и силу ветра.

2. Алгоритм решения задачи

Для эффективного использования разрабатываются системы мониторинга состояния водоемов в реальном времени, основанные на автоматизации процессов сбора и обработки информации. В таких автоматизированных системах мониторинга применяются различные датчики: инклинометрические, течи, деформации, температуры, давления на грунт и уровня воды [68-70].

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений, особенно плотин, разрушение напорного фронта является одной из наиболее опасных аварийных ситуаций, приводящей к значительным экономическим, экологическим и социальным последствиям. Кроме того, это оказывает существенное влияние на экологическое состояние нижнего бьефа гидроузлов. Для информационных систем мониторинга необходимо обеспечить сбор данных в реальном времени.

Оборудование для измерения уровня воды может варьироваться. Чтобы система функционировала должным образом, измерительные приборы будут интегрированы с подсистемой передачи данных и подсистемой энергоснабжения. Такая интеграция позволит осуществлять мониторинг уровня воды даже в труднодоступных моренных озерах. Технические средства измерения уровня воды должны обеспечивать возможность получения данных с датчиков с различной периодичностью.

Накопленные данные будут передаваться в ситуационные центры и использоваться специальными службами для прогнозирования возможных паводков и наводнений, расчета расхода воды и в других целях. Система мониторинга может быть связана с другими автоматизированными системами, такими как системы забора и сброса воды на плотинах гидроэлектростанций, системы тревожного оповещения и другими функционально

взаимосвязанными системами. Внедрение системы мониторинга уровня воды позволит эффективно предотвращать возникновение чрезвычайных ситуаций.

3. Численные расчеты

Наша разработка представляет собой комплексную систему мониторинга состояния водоемов, предназначенную для предупреждения прорыва плотин. Она включает четыре основных блока:

1. Блок сбора и передачи данных о текущем уровне воды, влажности и температуре на гребне плотины.
2. Блок сбора и передачи данных о ветровых условиях.
3. Блок обработки и анализа данных (сервер), который оценивает текущую ситуацию и уровень угрозы.
4. Блок прогнозирования последствий возможного прорыва плотины.

Используемые компоненты

Для создания автономной системы передачи климатических данных мы применили одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 B+ и микроконтроллер Arduino Uno.

- Arduino Uno:
 - о Устройство, оснащенное микроконтроллером ATmega 328, упрощает работу с микроконтроллером. Подключение осуществляется через AC/DC адаптер, батарею или USB-кабель (на рисунке 1 помечено цифрой 3).
- Raspberry Pi 4 B+:
 - о Компактный одноплатный компьютер, который совмещает в себе все компоненты стандартного компьютера на одной плате. Он поддерживает операционные системы Linux и Windows (на рисунке 1 помечено цифрой 6).

Функциональные блоки системы

- Блок сбора и передачи данных о текущем состоянии:
 - о Размещенные на гребне плотины датчики измеряют уровень воды, влажность и температуру. Данные отправляются на микропроцессор Arduino для предварительной обработки и дальнейшей передачи на сервер.
- Блок сбора и передачи ветровой информации:
 - о Этот блок базируется на беспроводной метеостанции модели WH108, данные с которой передаются на Raspberry Pi и далее через Arduino на сервер.

Основные данные и датчики

Ключевые данные для мониторинга рисков прорыва плотины поступают от датчиков уровня воды, температуры, осадков и ветровой нагрузки.

- Датчик DHT11:
 - о Устройство для измерения температуры и влажности, с одним цифровым выходом. Частота опроса не превышает одного раза в 1-2 секунды (на рисунке 1 помечено цифрой 2).

Технические характеристики DHT11:

- Напряжение питания и I/O: 3-5 В
- Диапазон измерения влажности: 20-80% с точностью $\pm 5\%$
- Диапазон измерения температуры: 0-50°C с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$
- Частота опроса: до 1 Гц (раз в секунду).

Иллюстрации и компоненты

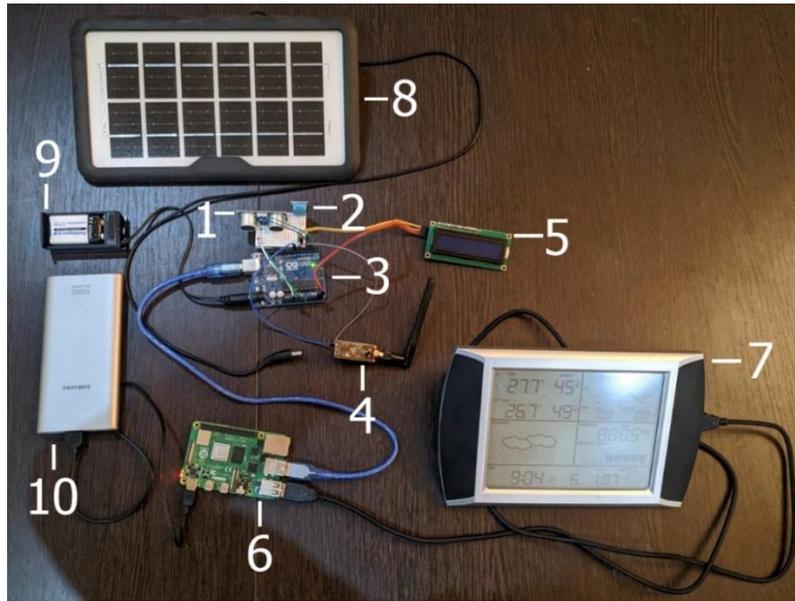


Рисунок 1. Основной блок ПАК



Рисунок 2. Блок приема и передачи метео-информации

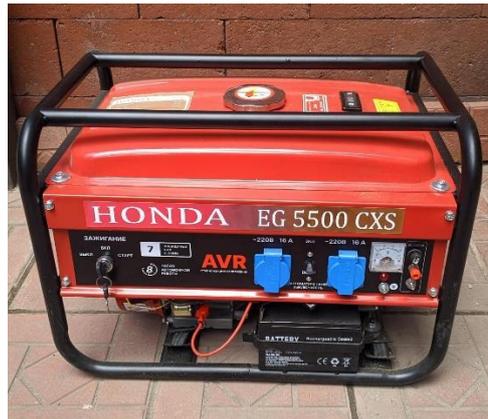


Рисунок 3. Бензиновый генератор

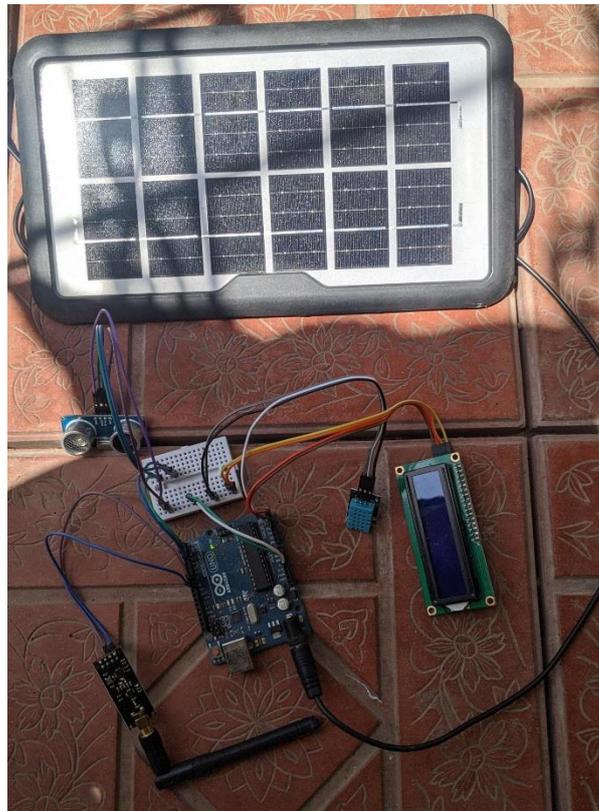


Рисунок 4. Автономная подсистема приема и передачи данных об уровне воды и температуре на солнечном питании

На рисунке 1 представлены основные компоненты системы:

1. HC-SR04: Ультразвуковой модуль для измерения расстояния.
2. DHT11: Датчик температуры и влажности.
3. Arduino Uno: Микроконтроллер.
4. nRF24L01 PA LNA: Радиомодуль для передачи данных.
5. Дисплей 1602 с I2C адаптером: ЖК-дисплей для отображения информации.
6. Raspberry Pi 4 Model B: Одноплатный компьютер.
7. WH108: Сенсорный экран беспроводной метеостанции.
8. Солнечная панель: для питания системы.
9. Кабель питания для Arduino от батареи "Крона".

10. Samsung, 10000Mah: Внешний аккумулятор.

Спецификации компонентов

- Ультразвуковой датчик US-015:
 - Используется для измерения уровня воды. Работает, посылая звуковые волны на определенной частоте (на рисунке 1 помечен цифрой 1).
 - Технические характеристики US-015:
 - Напряжение питания: 5 В
 - Потребляемый ток: 20 мА
 - Режим ожидания: 2,2 мА
 - Угол измерения: 15°
 - Диапазон измерения: 2 - 700 см
 - Точность: 0,3 см + 1%
- Радиомодуль NRF24L01+PA+LNA:
 - Предназначен для передачи данных по радиоканалу. Работает в диапазоне частот ISM (Industrial, Scientific, Medical), поддерживает передачу данных на расстояние до 2 Мбит/сек и частотный диапазон 2400 - 2524 МГц (на рисунке 1 помечен цифрой 4).
 - ЖК-дисплей 1602 с I2C адаптером:
 - Дисплей с подсветкой для отображения информации, подключен к Arduino (на рисунке 1 помечен цифрой 5).
 - Метеостанция WH108 представлена на рисунке 2. Сенсорный экран для мониторинга и прогноза погоды (на рисунке 1 помечен цифрой 7).
 - Переносная бытовая метеостанция с беспроводной связью между датчиками и приемником, обеспечивающая подключение к компьютеру через USB порт для записи и анализа данных, а также возможность самостоятельного прогнозирования погоды. Основной блок метеостанции отображает важную текущую информацию о погоде, полученную от наружных датчиков: температура, влажность, атмосферное давление, направление и скорость ветра, а также количество выпавших осадков. Наружные датчики включают в себя удобные монтажные кронштейны и штангу, позволяющие разместить их за окном, в саду или на крыше дома для получения наилучших метеорологических данных.

Энергоснабжение системы

При отсутствии стационарного электрообеспечения предусмотрены следующие варианты питания:

1. Солнечная панель (на рисунке 1 помечена цифрой 8).
2. Батарейное питание: Кабель для подключения Arduino от батареи "Крона" (на рисунке 1 помечен цифрой 9).
3. Внешний аккумулятор Samsung, 10000Mah (на рисунке 1 помечен цифрой 10).
4. Бензиновый генератор (на рисунке 3).

Автономная система мониторинга

На рисунке 4 показана автономная подсистема, работающая на солнечном питании, для сбора и передачи данных о уровне воды и температуре. Эта система подходит для мониторинга удаленных или труднодоступных водоемов.

Блок обработки данных

Этот блок содержит постоянную информацию о характеристиках водоема и плотины, а также собирает текущие данные. В случае угрозы система автоматически оповещает государственные органы о возможной опасности прорыва.

Блок прогнозирования последствий

На основе разработанной модели и характеристик водоема блок прогнозирует возможные последствия прорыва плотины, включая расчеты высоты волны и потенциальные разрушения.

4. Заключение

Исходя из применения микропроцессорной техники и сенсорных датчиков, была разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных. Программа мониторинга факторов прорывных волн в реальном времени создана с использованием математической модели, способной осуществлять непрерывное отслеживание уровня заполненности водоема и оценивать вероятность прорыва дамбы. Предложен метод мониторинга уровня воды, основанный на нечеткой и интервальной математике. Накопленные данные будут передаваться в ситуационные центры и использоваться специализированными службами для прогнозирования возможных наводнений, подсчета водных ресурсов и других целей. Система мониторинга может интегрироваться с другими автоматизированными системами, такими как системы управления водосбором на гидроэлектростанциях, системы тревожного оповещения и другие взаимосвязанные функциональные системы. Внедрение системы мониторинга уровня воды предполагает профилактику возникновения чрезвычайных ситуаций.

Работа выполнена за счет средств НИИ математики и механики при КазНУ имени аль-Фараби и грантового финансирования научных исследований на 2023–2025 годы по проекту AP19678157.

Список литературы

1. Молдабеков М.М., Еремир Д.И., Понятов Ю.А. Мониторинг уровня воды, озер, рек морей и гидротехнических сооружений // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2013. – №1. – С. 3-6.
2. Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З. Последствия при разрушении гидротехнических сооружений и возникновении чрезвычайных ситуаций // Материалы международной конференции. – Алматы: КазАТК им. М. Тынышпаева, 2018. –Том 2. – С. 74-78.
3. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2012. – № 1(15). – С. 10-21.
4. Платт Ч. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 448 с.
5. Иго Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 544 с.
6. Бокселл Дж, Изучаем Arduino. 65 проектов своими руками. – СПб.: Питер, 2017. – 400 с.
7. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 464 с.

Мазаков Талгат Жакупович – д.ф.-м.н., профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: tmazakov@mail.ru;
Зиятбекова Гулзат Зиятбеккызы – PhD, и.о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

Джомартова Шолпан Абдразаковна – д.т.н., доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: jomartova@mail.ru;
Мазақова Әйгерім Талғатқызы – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: aigerim97@mail.ru;
Әлиасқар Мағжан Сүндетұлы – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru;
Жақсымбет Айсұлу Талғатқызы – студент Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, Алматы, e-mail: zhaksymbet03@gmail.com@gmail.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА: СОЗДАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА НА БАЗЕ ARDUINO

Г.И. Жолдангарова

НАО Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева

УДК 519.676

***Аннотация.** В данной работе рассмотрена основная методика создания оросительной системы с использованием современных информационных технологий. Определены основные факторы (атрибуты), влияющие на энергетические параметры правильного функционирования оросительной системы. Предлагаемая основная технология орошения предназначена для повышения производительности труда без привлечения большого количества человеческих сил путем определения уровня воды, температуры почвы, содержания питательных веществ и т.д.*

***Ключевые слова:** технология орошения, основная методика, на базе Arduino, тепловой насос, методы.*

Введение

В современном мире инновационные технологии играют ключевую роль в повышении эффективности и устойчивости различных отраслей экономики. Одной из таких отраслей является сельское хозяйство, где энергоэффективные решения становятся все более востребованными. Одним из перспективных направлений в этой области является использование тепловых насосов для отопления тепличных комплексов. Тепловые насосы позволяют эффективно использовать возобновляемые источники энергии, такие как тепло грунта или воды, для создания оптимального микроклимата в теплицах.

Использование платформы Arduino для создания тепловых насосов открывает новые возможности для автоматизации и управления системами отопления теплиц. Arduino представляет собой доступное и гибкое решение, которое позволяет разрабатывать сложные системы управления, интегрируя различные датчики и исполнительные механизмы. Благодаря этому можно значительно снизить затраты на оборудование и упростить процессы установки и эксплуатации.

В данной статье рассматривается методика создания водяного теплового насоса замкнутого или открытого контура на базе Arduino. Описаны основные компоненты и оборудование, схема подключения, программное обеспечение для управления системой, а также даны рекомендации по сборке и настройке системы. Такой подход позволяет обеспечить надежное и энергоэффективное отопление теплицы, создавая благоприятные условия для роста растений и минимизируя эксплуатационные расходы.

1. Обзор различных применений инновационных технологий в сельском хозяйстве

Сельское хозяйство играет важную роль в экономике Казахстана. Автоматизация в сельском хозяйстве, а именно разработка автоматизированной системы орошения является актуальной задачей. В работе [1] (ТАНХА ДХАРА ТИ ДР) приведен аудит различных применений искусственного интеллекта в сельском хозяйстве, таких как: орошение, прополка, опрыскивание с помощью датчиков и других средств, встроенных в роботов и и применение беспилотных летательных аппаратов. Авторами отмечено, что технология

искусственного интеллекта защитила урожайность сельскохозяйственных культур от различных факторов, таких как изменение климата, рост населения, проблемы занятости и проблемы продовольственной безопасности. Разработанные технологии экономят избыточное использование воды, пестицидов, гербицидов, поддерживают плодородие почвы, а также помогают в эффективном использовании человеческой энергии и повышают урожайность и улучшают качество. Обсуждаются вопросы применения различных методов зондирования почвенной воды, а также автоматизированных методов прополки. Обсуждается внедрение беспилотных летательных аппаратов, различные методы, используемые беспилотными летательными аппаратами для опрыскивания и мониторинга сельскохозяйственных культур.

В работе [2] Кумар (2014) обсуждает различные методы орошения с основным мотивом разработки системы с уменьшенным использованием ресурсов и повышенной эффективностью. Такие приборы, как измеритель плодородия и pH-метр, устанавливаются на поле для определения плодородия почвы путем определения процентного содержания основных компонентов почвы, таких как калий, фосфор, азот. Автоматические ирригаторы растений высаживаются на поле с помощью беспроводной технологии капельного орошения. Этот метод обеспечивает плодородие почвы и эффективное использование водных ресурсов.

В работе [3] Савита и Умамахешвари (2018) также развили идею эффективной и автоматизированной ирригационной системы, разработав дистанционные датчики с использованием технологии Arduino, которые могут увеличить производство до 40%.

Еще одна система автоматизированного орошения была предложена в работе [4] Варатараджалу и Рампрабу (2018). При таком подходе были построены различные датчики для различных целей, такие как датчик влажности почвы для определения содержания влаги в почве, датчик температуры для определения температуры, датчик регулятора давления для поддержания давления и молекулярный датчик для лучшего роста сельскохозяйственных культур. Установка цифровых фотоаппаратов. Выход всех этих устройств преобразуется в цифровой сигнал и передается на мультиплексор через беспроводные сети, такие как Zigbee и hotspot [5].

Одним из основных аспектов поддержания подходящих условий для роста растений в теплицах является использование значительных объемов энергии. Для повышения эффективности таких комплексов часто внедряют системы энергоснабжения с использованием тепловых насосов. Эта технология широко изучена и успешно применяется для отопления различных помещений. В данной статье проведен анализ использования теплового насоса совместно с тепловым двигателем для обеспечения энергией тепличного комплекса. Одним из перспективных решений в этой области является применение тепловых насосов, обеспечивающих эффективный перенос тепла между источниками. В рамках данной статьи рассмотрено использование теплового насоса на основе платформы Arduino, что способствует снижению затрат на оборудование и упрощению управления системой.

2. Методы

Издержки на отопление - ключевые расходы в секторе тепличного хозяйства и напрямую воздействуют на итоговую цену выращенной продукции. Поэтому важно обращать внимание на энергоэффективность тепличных хозяйств, чтобы вывести отечественную продукцию на конкурентоспособный уровень и постепенно уменьшить долю импортных продуктов.

Тепловой насос — это устройство, которое переносит тепло из одного места в другое, используя небольшое количество внешней энергии. В контексте тепличного комплекса

тепловой насос может забирать тепло из окружающей среды (воздуха, воды или земли) и переносить его внутрь теплицы для поддержания необходимой температуры [5].

Эффективность работы теплонасосной установки характеризуется отношением теплоты Q , полученной теплопотребителем, к потребленной тепловой насосом электрической мощности $N_{пр}$. Данную величину называют коэффициентом преобразования ТН:

$$\mu = \frac{Q}{N_{пр}} \quad (1)$$

Для расчетов используются начальные данные о площади теплицы, которая составляет 10000 квадратных метров или 1 гектар. Энергозатраты на искусственное освещение равны 20% от общего потребления энергии на выращивание культур. Этот процент энергии обычно используется для стимуляции роста растений с помощью искусственного освещения в течение всего года. Потребность растений в тепле зависит от времени года, при этом расход энергии на отопление находится в пределах от 15 до 50 (70) ватт на квадратный метр. Для расчетов примем, что потребность в тепловой энергии составляет 50 ватт на квадратный метр.

Для сравнения различных вариантов энергоснабжения теплиц примем за основу часовой расход условного топлива для получения определенного количества энергии. Это позволит сделать достоверное сравнение, отклонившись от анализа эффективности оборудования на основе стоимости эксплуатации, учитывая, что цены на топливо, тепловую и электрическую энергию постоянно меняются принята величина условного топлива, равная 293 000 килоджоулей на килограмм (за границей используется нефтяной эквивалент - 10 000 килокалорий на килограмм).

Таким образом, для обогрева необходима тепловая мощность в размере 500 киловатт. Электрическая мощность для досвечивания составляет 20% от этого значения, то есть 100 киловатт. Суммарная мощность равна 600 киловатт [5].

Высокий коэффициент энергоэффективности является ключевым показателем качества теплового насоса. Чем выше этот коэффициент, тем эффективнее работает установка, и тем меньше электроэнергии требуется для обеспечения нужного уровня тепла. Поэтому при выборе насоса необходимо обращать внимание именно на этот параметр. Ниже приведен пример схемы работы теплового насоса (Рис 1).

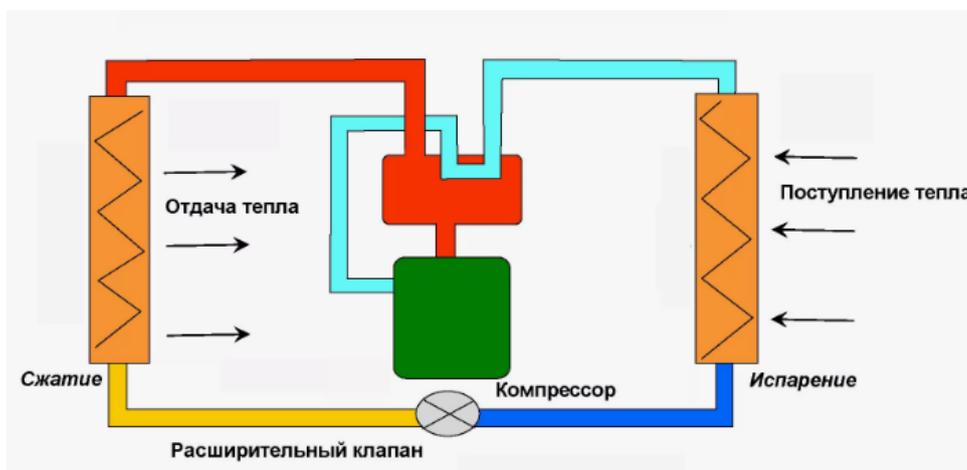


Рис. 1. Схема работы теплового насоса

Существуют различные типы тепловых насосов, каждый из которых имеет свои особенности и показатели энергоэффективности. Например, воздушные тепловые насосы обычно имеют более низкий коэффициент, чем грунтовые или водяные насосы. Поэтому при выборе насоса необходимо учитывать также особенности конкретной установки и условий эксплуатации [5].

Повышение энергоэффективности тепловых насосов является важным направлением развития данной технологии. Производители постоянно работают над улучшением конструкции насосов, увеличением коэффициента эффективности и снижением энергопотребления. Такие усовершенствования позволяют сокращать расходы на отопление и снижать вредное воздействие на окружающую среду.

3. Схема подключения

Энергоснабжение теплиц с использованием газового котла является эффективным способом поддержания оптимального микроклимата для роста растений. Использование платформы Arduino позволяет автоматизировать управление газовым котлом и системой отопления, что повышает энергоэффективность и удобство эксплуатации. Использование датчиков температуры и реле позволяет точно контролировать работу компрессора и циркуляционных насосов, обеспечивая оптимальные условия для роста растений. Такой подход снижает эксплуатационные затраты и повышает эффективность использования энергии в тепличных комплексах. Платформа Arduino была выбрана для управления тепловым насосом благодаря своей доступности, простоте программирования и широким возможностям расширения. Arduino позволяет контролировать температуру в теплице с высокой точностью и автоматизировать работу системы.

Компоненты теплового насоса

1. Компрессор: сжимает рабочее тело, увеличивая его температуру.
2. Конденсатор: теплообменник, где рабочее тело отдаёт тепло.
3. Испаритель: теплообменник, где рабочее тело поглощает тепло.
4. Дроссельный клапан: регулирует поток рабочего тела между конденсатором и испарителем.
5. Микроконтроллер: управляет работой насоса и контролирует температуру.

Схема подключения:

Компоненты подключаются к Arduino следующим образом:

- Датчики температуры подключаются к цифровым пинам для считывания данных.
- Реле подключается к цифровому пину для управления компрессором.
- Вентиляторы и теплообменники размещаются в необходимых местах для обеспечения эффективного теплообмена. На рисунке 2 показана технология для энергообеспечения тепличного комплекса.

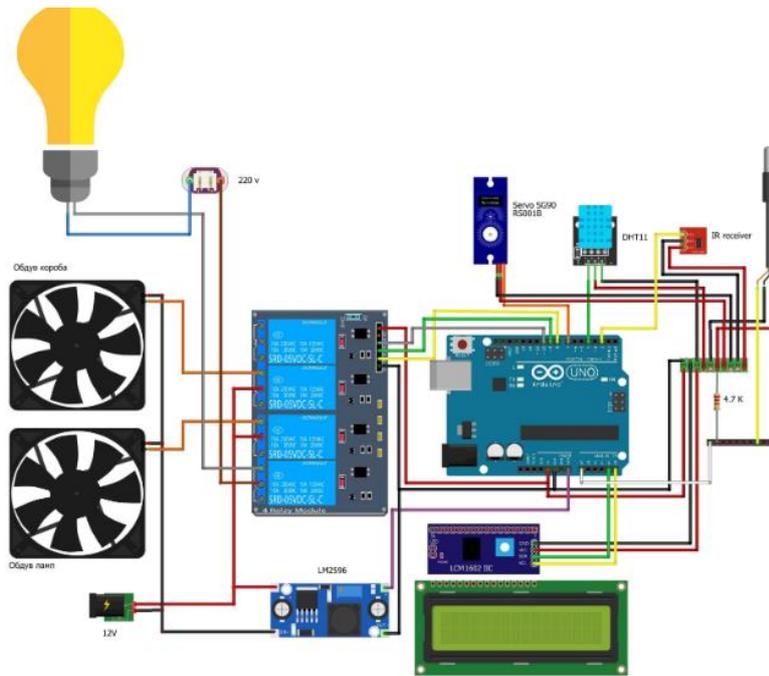


Рис. 2. Схема создания теплового насоса на базе Arduino

В данной статье в качестве программного обеспечения была выбрана среда ArduinoIDE, запрограммированная на языке C++.

Создание теплового насоса на базе Arduino представляет собой инновационный подход к энергообеспечению тепличных комплексов. Этот проект не только снижает эксплуатационные расходы, но и способствует более эффективному и устойчивому ведению сельского хозяйства. Использование Arduino позволяет реализовать этот проект с минимальными затратами и высокой степенью автоматизации, что делает его доступным для широкого круга пользователей.

OneWire — это библиотека, которая обеспечивает работу с интерфейсом OneWire. Интерфейс OneWire разработан компанией Dallas Semiconductor (ныне часть Maxim Integrated) и используется для связи с датчиками и другими устройствами через один провод. Библиотеки OneWire и DallasTemperature предназначены для работы с цифровыми датчиками температуры, такими как DS18B20, через интерфейс OneWire. Эти библиотеки позволяют легко подключать и управлять несколькими датчиками температуры, используя всего один провод для передачи данных. Библиотеки OneWire и DallasTemperature предоставляют удобные и мощные инструменты для работы с цифровыми датчиками температуры. Они значительно упрощают процесс интеграции датчиков в проекты на базе Arduino, позволяя разработчикам сосредоточиться на логике управления и обработки данных, а не на низкоуровневом взаимодействии с датчиками.

4. Заключение

С использованием современных информационных технологий возможно построить интеллектуальную систему орошения. На начальном этапе используя геофизические приборы, возможно определить физические свойства верхних слоев поверхности орошаемого поля. Исследования полезны для обнаружения влажности пористости верхних слоев грунта. На следующем этапе установка датчиков для определения необходимых параметров изучаемого поля, данные датчики фиксируются микроконтроллером Arduino, далее процесс проходит по указанной выше схеме.

Традиционная система энергоснабжения теплицы имеет простую тепловую схему проста в эксплуатации, тем не менее, ее главный недостаток — малая экономичность. Тепловые насосы дают большие возможности по сбережению энергии на отопление теплиц. Технология расчета и монтажа тепловых насосов хорошо отработана и широко используется в настоящее время для помещений.

Список литературы

1. TanhaTalaviya a , Dhara Shah a , Nivedita Patel b , HiteshriYagnik c , Manan Shah d, *// Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides// journal homepage: <http://www.keaipublishing.com/en/journals/artificialintelligence-in-agriculture/>
2. Kumar, G., 2014. Research paper on water irrigation by using wireless sensor network. International Journal of Scientific Engineering and Technology, IEERT conference Paper, pp. 123–125.
3. Savitha, M., UmaMaheshwari, O.P., 2018. Smart crop field irrigation in IOT architecture using sensors. Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. 9 (1), 302–306.
4. Varatharajalu, K., Ramprabu, J., 2018. Wireless Irrigation System via Phone Call & SMS. InternationalJournalofEngineeringandAdvancedTechnology. 8 (2S), 397–401.
5. YuthikaShekhar, EktaDagur, Sourabh Mishra//Intelligent IoT Based Automated Irrigation System//B.Tech Graduate, Department of Information Technology, SRM University, Kattankaluthur Campus, Chennai-601302, India//International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 18 (2017) pp. 7306-7320.
6. И.К. Шаталов, И.И. Шаталова. Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2017 Vol. 18 No. 2 275—285

Жолдангарова Гульнар Игибаевна
Докторант НАО «Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева»
010008, Казахстан; e-mail: igibaevna@bk.ru

AN APPROACH TO REPRESENTING TIME IN MODELING DEVELOPING SYSTEMS

Igor N. Skopin^{1,2}

¹*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics,*

²*Novosibirsk State University*

Abstract. Approaches to the determination of model time in studies of developing systems are discussed. The possibility of setting the global time of the system using the local times of its elements, understood as protocols of events in which they participate, is shown. Combining all such protocols results in a partial order of events. It is proposed to use this order as the global time of the system. The correctness of such a definition of time is shown, as well as the fact that it is well combined with the use of an event control mechanism in simulation models.

Keywords: developing system; evolving system; local and global time; partial order relation on the set of events; events, reaction of elements to events; event protocols.

I know that I measure time, but I cannot measure the future, because it does not yet exist; I cannot measure the present because it has no duration; I cannot measure the past because it no longer exists. What am I measuring? Time that passes, but has not yet passed?

Aurelius Augustine (354 – 430). Confession [1]

1. Introduction

The study of a developing system by modeling methods always provides that the model representation of development reflects changes in the real system that occur at some points in the time of its existence. Development processes start, run, and end within certain time frames, which in itself indicates the need for time modeling. However, what is important here is not so much hours, minutes, etc., but such properties as mutual influence and synchronization of the behavior of system elements, development under the influence of events external to the system being modeled or produced by its elements. In other words, at the model level, the interactions of elements are more significant than the moments of absolute time when these interactions occur.

The problem of adequate reflection of time in models is very important for any approach to the study of processes and phenomena. But when developing or evolving systems are studied, it takes on special significance. A common task in such cases is to reconstruct or simulate the behavior of the system as the interaction of its elements over time. As a consequence, the concept of model time is required, which would reflect reality in a consistent way with interactions. One of the main goals of the proposed work is the construction and justification of such a concept. The research presented in the report showed that overcoming the difficult problems of time globalization on the basis of world clocks is achievable if global time is considered as an entity secondary to the local times of the system elements. This made it possible to determine the general requirements for software support tools for model construction, taking into account the need to optimize model calculations on supercomputers. The development of unified design patterns for constructing development models is considered as a perspective of the approach.

2. Options for representing time in simulation

In any approach to modeling, it is necessary to distinguish between three options for representing time, one way or another used in building models and performing calculations (We define options for representing time following [2], refining them to better match the proposed concept):

- *Real time*, in which the functioning of the object under study takes place is the time of the real system, the model of which is built for the study;
- *Model time*, on the scale of which the experimental calculations of the model are organized, is a reflection of real time in the constructed model (it is often called system time, which, in our opinion, may not be understood quite correctly);
- *Computer time*, which reflects the time spent by the simulation - this attribute is especially important when using models, the adequacy of which depends significantly on the amount of computing resources involved in the calculations.

Real time for research is an attribute or an observable characteristic of the modeled object as a whole, which fixes the framework for the development of the system, presented in the form of the behavior of its elements. In most cases, real time is used as a source of values for the time parameters of the model as a whole and its elements, reflecting causal relationships. If it is necessary to model the real or, which is the same, the *absolute time* of a real system, it is natural to represent it as a data structure formed according to information about the order of interactions of elements, i.e. as a structure that is globally available for all elements of the system when performing their local actions.

The choice of approach to setting model time is very ambiguous (see, for example, [3]), but if the development of the system is associated with the activity and interactions of elements, then it becomes obvious that two types of model time must be agreement determined: *local time of each element* and the *global time of the system* as a whole. The key requirement here is agreement.

Human communities invented a single time for general use at the dawn of their existence, and therefore its use for synchronizing events occurring during the functioning of the model system and its elements seems natural. Unfortunately, global time, whatever its definition, suffers from redundancy, due to the fact that it is necessary to track not only events, but also the course of time, i.e. a real non-existent time generator. But something else is worse. This mechanism does not cope with the task of coordinating the actions of the elements of the system. Firstly, the property of the relevance of events is lost – you always have to check with the “world clock” alienated from the local sequence of actions of the element, and secondly, the required accuracy of indicating the simultaneity and sequence of performing several actions that depend on each other is not achieved, i.e., when one of them produces data for others. In such cases, neither the agreement on the "instantaneous" actions, nor the consideration of non-deterministic behavior helps to cope with dependencies - in real life, this is enough. Therefore, it is necessary to supplement the time model with special corrective agreements. If so, isn't it easier to abandon the calculation of different times, which does little to harmonize the order of model actions and events? A more detailed discussion of the problems of global time can be found in [4].

When building development or evolving models, the computer time spent on carrying out model calculations limits the number of development trajectory options that can be verified. In addition, when the model uses imitation of continuous processes described by differential and integral equations, instead of the exact solution of which its approximation is calculated, the quality of the result can be improved by using more productive computing equipment. Clearly, that these circumstances affect the adequacy of the study.

3. Modeling of developing systems and event driven control

A system (ancient Greek σύστημα “a whole made up of parts; connection”), according to the definition of the Great Russian Encyclopedic Dictionary, “is a set of elements that are in relationships and connections with each other, which forms a certain integrity, unity” [5]. The given interpretation of the concept of a system reflects the commonality of its various existing definitions: we can say that almost always systems are made up of elements and relationships, the essence of which is fixed in further clarifications.

With regard to modeling problems, two types of systems should be defined simultaneously:

- a real-life system under study – a *real object of research*, and
- *model system* – an artifact that reflects the properties and behavior of a real system, defined for the study.

In the proposed concept, it is considered that the real system is a *developing or evolving object*. Development is a change in the system, which is carried out under the influence of the activity of its elements and the influences of the environment. Both the elemental composition of the system, its properties and the properties of its elements, including the links between elements, change. In this regard, building a forecast or identifying patterns of changes in the system can be chosen as the goals of studying the system, i.e. the dependence of its development on the properties of the elements, their interaction with each other and with the environment, in other words – with the *environment* of functioning.

A *model system* is an object designed to imitate a real object in order to identify and track the patterns of its development. The model system should reflect the parts of the real object provided for by the study, its properties and functions. Therefore, the construction of a model system provides for the abstraction from everything non-essential in the structure and behavior of a real object. In turn, the model system as a whole and its elements should have properties, functions, and other attributes that could be disappeared due to abstraction. These features are attributed to the elements and the system as a whole. Due to such *attribution*, the integrity of the model system is restored.

Compared to a real object, information obtained about a model system with the help of observations, measurements, and experiments turns out to be more accessible for analytical work. If abstraction and attribution are carried out adequately to the requirements for the study, and observations are performed correctly, then the transfer to the real object of the revealed patterns of development of the model system will be legitimate.

Elements of the model system is distinguished by its *attribute representation*, which allows the transfer of data and methods to perform the actions necessary when operating with the model. The attribute representation of element stores information about the particular type of an element, as well as about the connections between elements – relations with other elements. The types of connections between the elements of a real object are diverse and changeable, but even before the start of the study, those elements and connections that are taken as essential are selected – the existence of other aspects of real objects is ignored. So the *elemental decomposition* required for the study of the real object is constructed, or rather, the element decomposition required for the study of the real object is selected, which we will further call the *studied real system*.

The properties and links of the elements of the model object are not selected, but are constructed using the concepts and objects of an already existing system of concepts and tools for their combination. Thus, a model system is built. The criterion for selecting components for a model system of elements is that, using their properties and relationships, the real system representing the object under study can be reconstructed as an independent structure that allows a one-to-one correspondence between the studied real and model systems.

When the object of study is a developing or evolving system, it is postulated that the elements of the system can perform certain *actions*: the creation and destruction of elements, changing their properties and relationships, as well as the properties and relationships of other elements. It is essential that with the development of the system, the actions available for execution change. Therefore, we need to talk about the sequence of *element states*. Each of them is characterized by a set of valid actions that the element, being in this state, can perform. A state is a special kind of property of an element that dynamically changes during the operation of the system.

The concept of the state of an element of a model system is in good agreement with the same concept of a real developing or enveloping system. Moreover, the very development of the system can be interpreted as a combination of sequences of state changes of all its elements. In real systems, such a union is achieved by linking state changes to a single time axis, which, as shown

above, is not enough to synchronize interactions in model systems. It is required to reflect in the model the reasons for the transition of an element from one state to another: in the course of carrying out calculations, the element must receive a signal about the need to perform transition. An adequate way of such signaling is a general event mechanism, applicable not only for changing the states of elements. Its essence boils down to the following operations performed in the specified order:

1. *Generation of an event* by some element of the model system or its environment (in relation to the change in the states of elements, this is the source of the event, the cause of a possible change in the states of some elements);
2. *Recognition of an event* by those elements that should receive a signal (this is the identification of a signal by some elements as the cause of a possible change in their states);
3. *Reaction to the event* by each of the elements that recognized the event by performing actions defined for this event (this is a consequence of the event recognized by the element as the reason for making a decision to change its state).

It is important to note that the response to an event, interpreted as a requirement to perform some action, may be different from this action. The element decides which reaction to take based on all the information available to it, not just the recognition of the event. So, if the requirement to move to a new state is determined not by one event, but by some sequence of them (for example, the situation with the accumulation of some resource), then it is accepted only as a result of responding to the final event of the sequence. Note that events with ambiguously chosen reactions of the same element are easy to eliminate: it is enough for such a state to set a special function as a reaction that generates an auxiliary event with a single reaction for each of the options for the initial reactions.

Responding to an event is not necessarily an immediate consequence of recognition. It can be *delayed* until the trigger conditions are met, and in a real system or when implementing the global time of the model, it can also be assigned to a specific time. As in the case of ambiguous reactions, a delayed reaction is easily simulated using a special auxiliary event that is generated when the trigger conditions are met. In this case, it is not necessary to generate this event with an explicit assignment of a delayed reaction for a certain time. It is only necessary that it occur *after* the delayed reaction and *before* the events that depend on it.

Events connect a system element with other elements: the very generation of an element and its further states depend on its actions, actions of other elements and the environment, more precisely, on the results of these actions. All these actions are the consequences of the corresponding events that are their causes. Some of the real events in the simulation are ignored - the researcher either does not know about them, or abstracts from their existence. In both cases, the causality of the action of the element, including changes in its state, is *attributed* to other events or processes initiated by such events. Both causality and attribution of causality are directly related to the concept of model time: until a causal event (perhaps several necessary events or one of them - it depends on the semantics of the model) does not occur, the corresponding reactions cannot occur. It is clear that it should not violate the causal relationship: the attribution of causality *later* than the onset of its consequences, including events-consequences, is prohibited.

Let us illustrate the introduced concepts on the example of a fragment of the conditional model of tea drinking. An electric kettle with the following alternative properties is considered as one of the elements of the model: empty and filled with water, switched off and on. Permissible combinations of these properties characterize the states of the teapot. With correct operation of the kettle, the switch-on event leads to the activation of the boiling process. We will assume that the event of turning on the kettle without water is controlled, i.e. for an empty kettle, switching on does not entail any actions, in particular, they do not change its state. In the case of a kettle filled with water, the switch-on event is attributed to causality: in the tea-drinking model, it is assumed that the water in the teapot boils because of it, and boiling before switching on is not allowed. At

the same time, it is ignored that boiling is impossible without heating, the processes of generating electricity and turning it into heat, and the boiling event occurs after a certain period of time after switching on without any special actions. In real life, the question of when this will happen does not arise, but the fact of boiling is transferred to the model level as a statement that this happens after switching on. For a boil event to occur, a new event may be required, for example, when there is a forced shutdown of heating in the interval between the initial start and the end of the process. But information about the size of this time interval is actually not used in any way.

Conscious attribution of causality is a natural modeling technique that allows you to correctly abstract from the insignificant details of the system under study. At the same time, unconscious attribution can lead to a violation of the principle of Occam's Razor: "One should not multiply things unnecessarily" [6] and, as a result, to the inadequacy of the created models. This is especially important to take into account in approaches that appear when the processes and phenomena under study require the joint construction of a set of models:

- a specific system is considered as a part, an element of another system of a higher level, called a *supersystem*;
- some elements of the system are considered as consisting of other elements, i.e. as systems of a lower level, called *subsystems*.

Options for constructing a model consisting of several levels, starting from low-level elements by collecting the necessary subsystems of the supersystem from them – *ascending*, i.e. *bottom-up approach*, or in the opposite direction – *descending*, i.e. *top-down approach*, are formally equivalent. Both approaches can be used in modeling practice. And if one of them is chosen, then the second should be considered as a testing tool. However, it should be noted that both the complexity of building a system of models and the efficiency of calculations largely depend on the choice of design direction. Both approaches allow building as *strictly hierarchical* systems, when each of the them can be a part, i.e. element of only one supersystem, and non-strictly hierarchical, when elements of supersystems can be included in different supersystems.

Both approaches allow building as *strictly hierarchical systems*, when each of the subsystems can be a part, i.e. element of only one supersystem, and *non-strictly hierarchical systems*, when subsystems-elements of supersystems can be included in different supersystems. (The properties of hierarchy and methods for constructing hierarchies based on two types of binary relations: equivalence and subordination are studied in detail in [7, 8]. In them, strictly and non-strictly hierarchical systems are called, respectively, classification and subordination.)

The observed reality, in which the object of study is immersed, can be considered as a system: it consists of at least two parts: the object of study and its environment. From the researcher's point of view this is already an abstraction: what is not required for the purposes of the study is ignored, and are fixed the parts-elements of the system being created and their names.

Here are examples of such systems, the level of which for the relevant research could be the highest for relevant objects of study: the earth is land, water and air, everything else is the environment; the tree is the crown, trunk, and roots, everything else is the environment; the scientific school is founding teachers, generations of students, periods of growth, apogee, stabilization and attenuation, etc., everything else is the environment. The observed reality, in which the object of study is immersed, can be considered as a system: it consists of at least two parts: the object under study and its environment. From the point of view of the researcher, this division already is an abstraction: what is not required for the purposes of the study is ignored, and are fixed the parts-elements of the system being created and usually their names.

It is at the level of observed reality that time appears as a special attribute of the system as a whole. The temporal order in which reality events arise and are processed does not necessarily have a direct bearing on the order of model events of subsystems and their elements, and this can be misleading. Considering reality as a system consisting of elements does not mean identifying it with a model system. In particular, events and their temporal order in reality are determined by a

huge number of factors influencing the development of the object of research, and not only by considered essential. And of course, in reality there is simply no place for attributions and artificial constructed causal relationships. The reality in which the object of study is immersed is whole, unified and indivisible into parts.

How, then, to achieve consistency of the model concept of time with the really existing or only subjectively felt, substantial or only relational essence of time, the interest in which was born at the dawn of mankind and has not ceased to this day? Without claiming to be universal, we propose a solution to the problem of time when modeling developing systems, the behavior of which depends significantly on the activity of their elements. The basis of the solution is the organization of the interaction of elements, mediated by event management of calculations.

The sequence of events that the element of the model recognizes and to which it reacts during the development of the system is hereinafter referred to as the *protocol of the element's behavior*. It is the protocol that is naturally identified with the *local time of the element*. Protocols can overlap, i.e. have common events, which means the synchronized behavior of the elements of the system – they are involved in actions that should be considered a common reaction of the elements to the event recognized by them. The set of all protocols of all elements of a model system of a certain level partially orders the set of all events of this system. It makes sense to consider this partial order as a representation of the observed time of a real system, i.e. *global time of the model system*. When building models of different levels together, this representation is an attribute of the top-level system. The transition from a system of a certain level down the model hierarchy makes it possible to coordinate the local times of subsystems with the time of their common supersystem.

Note that the protocols do not imitate the real observable time in the model (they do not pretend, for example, to reflect the duration of the intervals between events), but perform such an important function for development as setting the binary relations “earlier”, “later”, and “incomparable” on the set of all events.

The requirement to simulate duration can be useful, for example, for posteriori, historical analysis, but not in cases of developmental modeling, for which a direct correspondence between the real observed time of the modeled object and its model representation would mean an additional entity without any benefits. That would be another violation of Occam's Razor.

4. Events, Protocols, Local Time

This section formalizes the concepts related to the event concept of time. Formalization fixes the minimum required level of requirements, sufficient to accurately specify the proposed concept of time and interactions.

Definition 1. The term event is understood as the essence of the behavior of the system, which has the following properties:

- a) Event *is generated* by the environment or elements of the system;
- b) Event *can be handled* by some elements that are said to *respond* to an event, i.e.
 - I. they *identify* or recognize an event and,
 - II. they *activate* the processing, i. e. event response program;
- c) Event can be tracked, i.e. fixed for each element, in the sequence in which the element reacts to system events;
- d) *Event do not repeat*, i.e. in the sequence of events to which each of the elements reacts, there are no two or more identical events.

Then, for each element of the system, local time is defined as the sequence of all events to which this element reacts. This sequence is called the element behavior protocol.

Commentary on Definition 1

(a). The occurrence of events to which elements respond is an indefinable notion. It is enough to know only that the elements of the system interact through reactions to events that arise as a result of external influences or the behavior of any elements. The possibility of an element to declare an event "for itself" is not excluded, i.e. one to which he reacts himself, perhaps together with other elements. The set of events to which the element reacts changes in the course of the system functioning. As a result of various reactions, the set of recognizable events dynamically changes, which means that the response of the element to events changes (it does not matter whether they are external to the system or internal). This assumption allows us to talk about the development of elements and the system as a whole.

(b). Processing an event by an element is the identification of an event and the execution of a reaction program that uses the information associated with the event. The behavior of an element that does not respond to an event is independent of that event. He knows nothing about him. We can say that such events for the element do not exist. At the same time, events unknown to the element can indirectly affect its behavior.

(b.I). The instantaneous identification of an event by an element is postulated. The event does not affect any of the actions of the system and its elements, except for those that detect the event. No events occur during identification. Identification is a trigger function (predicate) that prescribes the execution or non-execution of the reaction program.

(b.II). The execution of a reaction program to an identified event may be instantaneous if no other events can occur during execution. Else the execution of the reaction is called long. The latter means the admissibility of changing behavior, including the reaction itself due to the appearance and processing of other events.

(c). An element's tracking of the events it responds to leads to the ability to access the element's history, i.e. to its protocol, which lists, in order of occurrence, all events associated with the element. Therefore, protocols are treated as retrospective local element time. It is also possible to consider the prospective or forecast local time of an element, meaning by this the totality of all possible continuations of the current state of the protocol, thereby replenishing the retrospective time with future variants of protocol continuations. Protocols may overlap. This means that two or more elements respond to the same event together, i.e. neither the order of execution of processing programs, nor the side effects possible as a result of such compatibility are determined in any way.

(d). The impossibility of repeating events means that when the response of elements to an event is required, coinciding with the response to some event already presented in the protocols, it is always a new instance of the event, even if it is functionally identical to the previous one. If necessary, you can define the types of events as equivalence classes in relation to the identity of the reaction of the elements of the system. All protocols are finite sequences. At the same time, the set of potentially possible events may turn out to be infinite due to the appearance of new elements in the system, and hence new future continuations of the protocols.

End of comment

5. The cycle of the element

Definition 2: Creation, activation and deactivation of an element.

Let some elements of the system react to some event in such a that as a result it turns out to be fulfilled:

- the *appearance* of an attribute representation of an element that corresponds to its type and reflects the inclusion of the element in all structures presented in the system;
- generation of an *empty protocol* of a new element;
- declaring, as the only event identified by the element, an *activation event*, the intended response to which initiates the element's active behavior (actual *birth*).

Such an event is called *element creation*. Creation is a common event of a new element and all elements that react to it. It is declared that for each element of the system an event is defined,

the reaction to which includes the termination of its activity, i.e. it stops responding to other events. Such an event is called an *element deactivation*.

The creation and activation events are the first members of the protocol of the new element. The deactivation event is the last member of the protocol. These three events can be either external or internal to the system. It is believed that the elements of the system that are present at the beginning of its functioning are created by a fictitious element that is inactive in the future.

Activation can occur either immediately after creation of element, or it can be delayed, but until it happens, this new element is unable to respond to other events. This is provided by initialization of attributive description of the element, which is considered as a reaction to the activation event.

The tasks of studying a developing system can be divided into *historical* and *predictive* ones. The first ones are connected with the analysis of implemented protocols, the second ones – with possible options for continuing the protocols. If the study concerns only realized protocols, then two limitations can be specified for considering the history: the beginning of the functioning of the system and its current moment. It is technically convenient to think of them as formal events generated externally. We will denote them as \vdash and \dashv , respectively. The same symbols are used for the start event, which activates the appearance of the model system, and the final event, which activates the actions associated with the end of the simulation.

All the created inactive elements that are initially present in the system respond to the *initial* event \vdash . Their reaction to it is the initialization of the corresponding attributive descriptions. Those for initial elements, the initial event is their activation. The event \dashv is *final* or *suspending*, that depends on whether the system is expected to resume functioning or not. Active elements react to it, remembering their current state and freezing all actions. Thus, a terminating/suspending event is understood as a *deactivation* event.

It is expedient to provide renewal for performance of the analysis of the developing system configuration (The concept of a configuration for the developing concept is auxiliary: it is used in those cases when it is required to consider time slices of the model calculations in order to extract information at certain “moments”. The researcher should be able to pause model calculations with a guarantee of resuming them in the future without any losses.). A forced reconfiguration is allowed, but only in cases where the modified configuration is achievable by the natural evolution of the system from its initial configuration. Otherwise, the picture of development will be obviously non-realistic.

In connection with possibility of resumption, it is appropriate to expand the interpretation of the initial event, allowing it not only as the “creation” of the system, but also as a means of resuming functioning in a suspended configuration. In the new interpretation, \vdash is reacted to by elements presented in a suspended configuration. This does not negate the understanding of the initial event as activation, but requires correction of the content of the reaction to it, which ensures the restoration of attributive descriptions. The correctness of the resume is guaranteed when all elements that are active when suspended respond to the event \vdash . Otherwise, the further behavior of the system may be unattainable from the initial configuration.

The event \vdash starts the protocol of any element initially present in the system. Suspension leads to the completion of all protocols with the event \dashv , and the resumption leads to their completion with the event \vdash . In order not to contradict the requirement of non-repeatability of events (see condition (d) in definition 1), the last two members of the protocol sequence \dashv and \vdash are considered to cancel each other during the renewal initialization of the element. Thus, the “invisibility” of the suspension / resumption of actions is achieved.

Definition 3. Historical and prospective events

The set of all events that occurred during the functioning of the system, i.e. recorded in the protocols of all its elements, is denoted as Ω . These are historical or realized events. Ω is formed

by replenishing the initially empty set with emerging events. The set of all events that can occur during any functioning is called the set of all potentially possible events. It is denoted as Ω^* .

The set Ω consists of events to which at least one element responds. It does not include potentially possible events to which there would be a reaction under a different set of circumstances, as well as predictive events from options for continuing protocols. Ω is always finite. It is with him that the solution of the historical problems of studying the system is connected. As for forecasting problems, they relate to the study of the set of potentially possible events Ω^* . But not all of this set is required, but only that part of it that contains continuations of protocols containing only realized events. For short forecasts, you can use the options for continuing the development of the suspended configuration of the system, but for studying trends, this is too heavy a tool.

We identify protocols and retrospective local time, but do not abandon synchronized interactions. Therefore, a concept is needed that reflects what is considered at the everyday level as a time scale, and which provides the necessary and sufficient means for describing interactions.

6. Time order of events and global time

Definition 4. Temporal partial order relation on the set of events and global time

Let $s_1, s_2 \in \Omega$ be two events, and the relation $<$ on the set of all events is defined as follows:

- a) If s_1 and s_2 belong to the same protocol, then $s_1 < s_2$ (s_1 "before" s_2 , inverse relationship – s_2 "later" s_1) in accordance with their order in the protocol sequence;
- b) If s_1 and s_2 belong to different protocols that have common events, then $s_1 < s_2$ if and only if there is an event s common for the two protocols and $s_1 < s$, and $s < s_2$;
- c) The relation is transitive $<$, i.e. $\forall s_1, s_2, s_3 (s_1 < s_2) \& (s_2 < s_3) \supset (s_1 < s_3)$ (this condition must be postulated only for such triples s_1, s_2 and s_3 , in which the first and last events belong to different protocols, and s_2 is a common event);
- d) For some events s_1 and s_2 , the relation $<$ can be forced if such setting does not violate the asymmetry of the relation: $\forall s', s'' \in \Omega (s' < s'') \supset \neg (s'' < s')$ (it suffices to require this only for those s' and s'' , one or both of which coincide with s_1 or s_2);
- e) In all other cases, the relation $<$ between s_1 and s_2 is not established.

Then $<$ is called the temporal (partial) order relation. This relation is declared by the system's *global time*.

Statement 1. The relation $<$ is a strict partial order on the set of all realized events Ω . Chains of this order are all protocols and all protocol branches, i.e. sequences of events, which are built as follows. The beginning of the chain is taken from one protocol or from a previously constructed chain, and the continuation is taken from another, which has a common event with the beginning.

Note that for the set of all potential events Ω^* , such a statement does not hold, which is in good agreement with the interpretation: under different combinations of circumstances, the same events can be realized in a different order.

7. Periods of occurrence of events and synchronization of protocols

Global time can be purely mechanically used to build hierarchies of the set of all events. However, this construction is rather artificial. In particular, it does nothing to help correlate historical events with levels meaningful for systemic hierarchies. Events by themselves do not form a system, they can only be a manifestation of the development of a system of elements. The hierarchy of events does not represent the structure of the system as a set of its elements with connections, but only provides some information about the behavior of the system as a whole and

its elements. It can (and should!) be used when considering the system as a black box, if it is assumed that the connection between events and the behavior of elements is not known a priori (and the task is to reveal this connection), or as a gray box, when some information about the structure is known, for example, the elements themselves. The hierarchy of events is able to determine the limits beyond which (earlier and later) an event cannot occur, i.e. periods of occurrence of events.

Definition 5. The period of occurrence of events

Let $<$ be a time order relation on the set of realized events Ω , x be an arbitrary event from Ω . Then the sets $L(x)$ and $H(x)$ are defined as follows:

$$L(x) = \{a \in \Omega \mid (a < x) \ \& \ \neg \exists b \in \Omega ((a < b) \ \& \ (b < x))\},$$

$$H(x) = \{b \in \Omega \mid (x < b) \ \& \ \neg \exists a \in \Omega ((x < a) \ \& \ (a < b))\}$$

are called the *lower and upper limits of the period of possible occurrence of the event x* .

Statement 2.

Definition 5 is correct, i.e. for any realized x , the sets $L(x)$ and $H(x)$ do not intersect and define at least one event, before and after which x cannot occur.

Proof of statement 2. The presence of elements in $L(x)$ and $H(x)$ follows from the fact that $\vdash < x$ and $x < \dashv$; if these sets intersect, then their common element a would simultaneously hold $x < a$ and $a < x$.

Definition 6. Synchronization of protocol events

Let the time order relation $<$ be defined on the set of realized events Ω , $E1$ and $E2$ are the elements of the system, and $m(E1)$ and $m(E2)$ are the protocols of these elements: $m(E1) = \{s_1, \dots, s_{n1}\}$, $m(E2) = \{s'_1, \dots, s'_{n2}\}$, respectively. Let, further, x be an event to which the element $E1$ reacts, i.e. $m(E1) = \{s_1, \dots, s_{i-1}, x, s_{i+1}, \dots, s_{n1}\}$, $1 \leq i \leq n1$. Then it is considered that

- a) x is *left synchronized with $m(E2)$* if $m(E2)$ has a subsequence s'_1, \dots, s'_{jl} such that $s'_k < x$ for $k \leq jl$ and $\neg(s'_k < x)$ for $k > jl$. In this case, *event x cannot occur before event s'_{jl}* . If, in addition, $s'_{jl} \in L(x)$, then x is *exactly synchronized with $m(E2)$ from the left*;
- b) x is *right synchronized with $m(E2)$* if $m(E2)$ has a subsequence s'_{jr}, \dots, s'_{n2} such that $x < s'_k$ for $k \geq jr$ and $\neg(x < s'_k)$ for $k < jr$. In this case, *the event x cannot occur later than the event s'_{jr}* . If, in addition, $s'_{jr} \in H(x)$, then x is *exactly synchronized with $m(E2)$ from the right*.

It is considered that x is *fully synchronized with $m(E2)$* if x is synchronized with $m(E2)$ from the left and from the right, i.e. $\exists s'_{jl}, s'_{jr} \in m(E2)$ satisfying conditions (a) and (b). If, in addition, x is synchronized with $m(E2)$ from the left and right exactly, i.e., $s'_{jl} \in L(x)$ and $s'_{jr} \in H(x)$, then x is *fully synchronized with $m(E2)$ exactly*.

If $x \in m(E1)$ and $x \in m(E2)$, then x is a *common event of protocols $m(E1)$ and $m(E2)$* , i.e. for some k , $k < n2$, $m(E2) = \{s'_1, \dots, s'_{k-1}, x, s'_{k+1}, \dots, s'_{n1}\}$. Then, by definition, $s'_{jl} = s'_{k-1}$ and $s'_{jr} = s'_{k+1}$. In this case, *the elements $E1$ and $E2$ react jointly to the common event x* .

Statement 3.

Definition 6 is correct, i.e. for any event x to which at least one element responds, and any protocol m of some element, either $x \in m$, or there are events of this protocol s'_{jl} and s'_{jr} that indicate synchronization of x with m on the left and right. There are protocols for which these properties hold exactly.

Proof of the statement 3. To prove it, it suffices to note that any event occurs no earlier than \vdash and no later than \dashv . These events are prime candidates for s'_{jl} and s'_{jr} . Sequential viewing of the selected protocol rejects events that do not satisfy the required properties. If all members of the protocol, with the exception of the initial and final events, are rejected, then the events \vdash and \dashv

remain to be sought. For elements that arise during the active functioning of the system, the rejection procedure remains feasible, since there is always the possibility of choosing a parent element, the branching of which means the creation of a new element. Skipping when rejecting all members of the parent protocol sequence before the element creation event is legal, because there are certainly no required events in this part of the chain. Taking into account the fact that any protocol is a chain, i.e. its members are ordered linearly, the necessary events are determined unambiguously.

Summarizing the above, it can be argued that the correct global time is a partial order on the set of events. If this is not enough during modeling, then the desired time scale can be set using a special element of the system, which can naturally be interpreted as a time generator, or a system clock. His role is the constant creation of moments in time. Other elements react to some of them, which means that their activity is tied to the timeline: the element “knows” at what moment it should perform the corresponding reaction. Some events are placed in relation to the temporal order with moments in time by specially. This is correct if the asymmetry condition (d) from Definition 4 is preserved and the transitive closure holds for the partial order extension. By such decision, everything that is required from the traditional global time is dosed, and uncertainty is preserved where the reference to time is only hypotheticalal.

8. Conclusion

The concepts of global and local time, temporal partial order, synchronization, etc. within the framework of the presented concept can be defined exactly, and this makes it possible to check the formal correctness of the interaction of elements that jointly respond to common events. We have shown the sufficiency of the introduced system of concepts to ensure the correct modeling of the interactions of the system elements within the framework of the event mechanism without involving global time in the form of a world clock.

It is generally accepted that the mechanism of event synchronization must satisfy the requirement of a local causality constraint, which provides simulation of the natural order of events “from cause to effect” for model time [10]. It is clear that no formalism is able to guarantee the automatic fulfillment of this or a similar requirement. Our formalization is not an exception. However, using it, the model developer will know exactly what properties of the model system need to be checked to verify its correctness. The organization of such a check is beyond the scope of this work. In this regard, it is worth mentioning the publications [11–14], in which special attention is paid to algorithms for synchronizing the interaction of processes and verification of time simulation.

Our concept of time as a partial order on a set of events does not pretend to be the only possible formal definition of a system of concepts for modeling development. Historically, the so-called quasi-parallel system of discrete events of the Simula language [15], and then Simula 67 [16], proposed by O.I. Dahl and K. Nygård back in the 60s (The history of the development of Simula, its concepts, user tools and other features is presented in a very interesting publication by the authors of the language [17]). This solution is remarkable in that it proves the possibility of mapping the interaction of autonomous processes, which the programmer can and should think of as parallel, into a scheme of sequentially executed program modules. At the same time, the effect of parallelism is preserved. The computing equipment of that time did not allow counting on the implementation of parallel calculations, and therefore it was necessary to build strictly sequential execution of models and simulate parallelism. Perhaps it was this limitation that allowed the authors of the Simula project to offer a balanced solution that has not ceased to be actual today.

Unlike model time, which is determined on the basis of relationships between events, the quasi-parallel system of Simula and Simula 67 sets or, better to say, constructs the predicted model global time, ordering the elements of the system in accordance with a dynamic calculation plan. This plan includes calls of elements' programs and environment of the system. To streamline the

execution of model calculations, a special data structure is used, called the control list, in which the elements (links to them) planned for activation are entered. At each moment of model calculations, the only active element is the one referred to by the first element of the control list. Once an element is no longer active, it is removed from the control list. All subsequent elements presented in the list are waiting for their turn to be executed.

The process performed by the element can be in one of four states:

- a) *active*, when the process program is (actually) being executed;
- b) *suspended*, when the execution of the process program is interrupted, but the resume point is remembered and the process is on the control list;
- c) *passive*, when the process is not running and not on the control list, but the reactivation point is remembered;
- d) *terminated* when the execution of its program is interrupted and the reactivation point is not remembered.

The control list construct simulates time. The first process is the only active one. When it interrupts its execution (becomes suspended, passive, or terminated), the next process of control list becomes to be active. A process can be inserted into the control list (before or after any process in the list, after a certain time) or removed from it. A process can also be scheduled for a specific time. This means that it is inserted before the process whose execution time is the minimum time that is greater than the one assigned. Perhaps a random (pseudo-random) action to insert a process into one or another place in the control list. We can assume that with the help of the control list, processes are given relative priorities. One may postulate that all operation with the control list and with the activity states of processes is a consequence of events occurring discretely in the system. Until any of the events has occurred, the reaction to which provides for the corresponding changes, the state of each the process and its position in the control list cannot change.

The most significant thing about the Simula discrete event system is that its operating facilities allow the programmer to think of the system elements as parallel agents in conditions of implicitly defined global time. In fact, the elements execute their programs sequentially and in strict accordance with a dynamically changing control list, which provides global time as a completely ordered set of events that have already occurred and are planned to occur. The computing equipment of the time when the Simula was created did not allow one to count on the implementation of parallelism, and therefore the decision to use a special data structure that supports the complete ordering of the activation of the elements of the model system, proposed by Dahl and Nygård, is quite justified (an analysis of this concept is presented in the publication [18]).

Today, one would like to see the development of discrete event systems that would orient computing towards the productive use of a multiprocessor resource, combined with the effect of parallelism provided by the control list. However, this problem is not as simple as it might seem on the surface. The fact is that a strictly ordered sequence of events creates the appearance of an additional dependence of the processes performed as reactions to events. The task of recognizing which of the processes can be executed in parallel is very laborious – it requires analysis of the relationships between the processes at the level of all contexts accessed by the processes, which is practically unrealistic for simulation programs. Approaches are needed that refuse to follow the straightforward ordering of calculations based on the global time of the model system.

An obvious way to organize computations to help reduce the cost of dependency analysis is to reduce process links through a common global context. With regard to event management in developing systems, this directly indicates the need to abandon global time modeling. And here it is necessary to speak about the development of language models of computations, aimed at the implementation of convenient and understandable means of supporting the task of local operation. As perspective directions in this area it is possible to name languages of functional style of programming and systems of the fragmented programming (Despite the fact that the first functional language, Lisp, is almost as old as Fortran, it became a start of functionality only in

1978 after the publication by J. Backus of the lecture that he gave when he was awarded the Turing Prize [19]. Fragmented programming [20] does not have such a long history. However, the experience of designing programs by preparing fragments that are combined to set the required calculations, taking into account the properties and features of both the algorithms being compiled and the real computing environment used, shows very good results.). The first of these areas includes pure Lisp with support for object-oriented programming (the CLOS system [21]), Haskell [22], etc., the second one includes the Luna programming language and system [23, 24]. Both directions have proved their effectiveness in designing programs in many applied and system areas, however, the adequacy of their use in modeling the development of systems remains to be explored.

The current state of art of investigation in time modeling reflects a detailed review by V.V. Okolnishnikov [25], which contains fairly complete information on approaches to solving developmental imitation. The value of this publication is that the author points out the motives for choosing one or another way of representing time in models, based on the needs of solving real modeling problems. In particular, he substantiates the reasons for the emergence of the Top Level Architecture Standard for Modeling and Simulation Systems [26], as well as related standards that were developed by the IEEE to unify problem solving methods in this industry. The author of the review notes that all considered simulation time models are currently used in various areas of modeling application, and their differences are related to the features of these areas.

The research presented in this paper has shown that overcoming the difficult problems of time globalization on the basis of world clocks is achievable if global time is considered as an entity secondary to the local times of the system elements. On this basis, you can build design patterns that implement fairly general methods for building models of evolutionary development. Identification of situations in which such templates are required, we consider as a promising work.

References

- [1] A. Augustine. Confession – Series Monuments of Religious and Philosophical Thought. Per. from lat. M.K. Sergeenko. 1991. – M.: Publishing house "Renaissance", SP IVO – SID, - 488 p. ISBN 5-7664-0472-7. (in Russian)
- [2] A.M. Namestnikov Development of simulation models in the MATLAB environment // Guidelines for students of specialties 01719, 351400. – Ulyanovsk, UIGTU, 2004. - 72p. (in Russian)
- [3] A.A. Shevchenko Time management in the design of simulation models // In: Applied Informatics. No. 3. 2006. — Laboratory of Mathematical and Computer Modeling. – pp. 113 – 119 (in Russian)
- [4] I.N. Skopin Local and global time in modeling developing systems. — On Sat. Proceedings of the Seventh International Conference in Memory of Academician A.P. Ershov "Prospects of informatics systems". Workshop "Science intensive software". – Novosibirsk: "Siberian Scientific Publishing House", 2009. – pp. 255 – 259. (in Russian)
- [5] System. Big Russian Encyclopedic Dictionary. — M.: BRE. — 2003, 1437 p. (in Russian)
- [6] G.A. Smirnov Ockham, William // New Philosophical Encyclopedia / Institute of Philosophy RAS; National social-scientific fund. — 2nd ed. — M.: 2010. — ISBN 978-5-244-01115-9.
- [7] I.N. Skopin. Hierarchical relations are the methodological basis for studying the concept of hierarchies. // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series "Informatization of Education". / M.: RUDN, - 2014, No. 1. – pp. 56-63.

- [8] I.N. Skopin. Subordination relations in the methodology for studying the concept of hierarchy. // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series "Informatization of Education". / M.: RUDN, - 2014, No. 2. – pp. 35 - 49.
- [9] E.W. Dijkstra. Co-operating sequential processes. // In Programming languages: NATO Advanced Study Institute: lectures given at a three weeks Summer School held in Villard-le-Lans, 1966 / ed. by F. Genuys. Academic Press Inc. – pp. 43-112.
- [10] L. Lamport. Time, clocks, and the ordering of events in a distributed systems // Commun. ACM. 1978. Vol. 21(7). – pp. 558–565.
- [11] K.M. Chandy, J. Misra. Distributed simulation: a case study in design and verification of distributed programs // IEEE Transactions on Software Engineering. 1978. Vol. se-5(5). – pp. 440–452.
- [12] A. Ferscha. Parallel and distributed simulation of discrete event systems // Parallel and Distributed Computing Handbook. McGraw-Hill. 1996. – pp. 1003–1041.
- [13] Yu.P. Kazakov, R.L. Smelyansky. On the organization of distributed simulation // Programming. 1994. No. 2. – pp. 45–63.
- [14] R.M. Fujimoto Parallel and Distributed Simulation Systems // Proc. of the Winter Simulation Conf. 2001. – pp. 147–157.
- [15] O.-I. Dal, K. Nygård. Simula — a language for programming and describing systems with discrete events // Communications of the ACM, c. 9, Issue 9. Sept. 1966 -- pp 671–678 <https://doi.org/10.1145/365813.365819>
- [16] O.-J. Dahl, B. Myrhaug, and K. Nygaard.. Some uses of the External Class Concept in SIMULA 67. (Presented by P. M. Kjeldaas at the NATO sponsored conference on Software Engineering, Garmisch, Germany, 7th- 1 lth Oct. 1968); // In the conf. report Software Engineering, 1968. – Eds. Naur, P., and Randell, B.
- [17] K. Nygaard, O.-J. Dahl. The Development of the SIMULA Languages. // History of programming languages. ACM New York, NY, USA ©1981. – pp. 439 – 480.
- [18] N.N. Nepeyvoda, I.N. Skopin. Fundamentals of programming. – Publishing House: Moscow-Izhevsk: Institute of Computer Research. 2003. – 919p. ISBN: 5-93972-299-7 (in Russian).
- [19] J. Backus. Can programming be liberated from the von Neumann style? A functional style and its algebra of programs. CACM, 21(8), August 1978. — pp. 613 – 64.
- [20] V. Malyshkin. Assembling of Parallel Programs for Large Scale Numerical Modeling. – In the Handbook of Research on Scalable Computing Technologies. IGI Global, USA, 2010, 1021 pp, Chapter 13, pp. 295 – 311. ISBN 978-1-60566-661-7.
- [21] S. Keene. Object-Oriented Programming in Common Lisp: A Programmer's Guide to CLOS, 1988, Addison-Wesley. ISBN 0-201-17589-4.
- [22] Haskell 98 Language and Libraries. The Revised Report. — Dec. URL: <https://www.haskell.org/onlinereport/>.
- [23] D. Akhmed-Zaki, D. Lebedev, V. Malyshkin, V. Perepelkin. Automated Construction of High Performance Distributed Programs in LuNA System // PaCT-2019 proceedings, LNCS 11657, Springer, 2019, pp. 3-9. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_1.
- [24] D.Zh. Akhmed-Zaki, D.V. Lebedev, V.E. Malyshkin, and V.A. Perepelkin. Automation of the construction of distributed numerical simulation programs in the LuNA system on the example of a model problem // Journal "Problems of Informatics", No. 4, 2019. P. 53-64. DOI: 10.24411/2073-0667-2019-00017. (in Russian).
- [25] V.V. Okolnishnikov Representation of time in simulation modeling. // In Computing Technologies. vol. 10, No. 5, 2005. — p. 57-80 (in Russian).
- [26] IEEE Std P1516. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) — Framework and Rules. N.Y.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000.

*Игорь Николаевич Скопин – к.ф.-м.н., с.н.с. Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
доцент Новосибирского государственного университета.
630090, Новосибирск; e-mail: iskopin@gmail.com*

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ	3
Приветственное слово участникам школы-семинара	5

СЕКЦИЯ 1

К.К. Байжасарова, М.Ж. Жилкишиев, С.Т. Мухамбетжанов ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ СО СВОБОДНЫМИ (НЕИЗВЕСТНЫМИ) ГРАНИЦАМИ	8
--	---

СЕКЦИЯ 2

А.С. Родионов СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛА ОПЕРАЦИЙ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СВЯЗНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ГИПЕРГРАФЫ	19
---	----

СЕКЦИЯ 3

А.О. Зырянов, Ю.А. Кочетов, С.М. Лавлинский МИНИМИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНЫХ РИСКОВ В ДВУХУРОВНЕВОЙ ЗАДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННО- ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА	26
--	----

СЕКЦИЯ 4

Ali Farajzadeh, Elman Hazar ON VECTOR VALUED CONTROL PROBLEM IN TOPOLOGICAL VECTOR SPACES	33
Volkan Duran, Elman Hazar, Ezgi Aydevmir DEVELOPMENT OF THE ALLOSTERIC LEARNING OPTIMIZATION ALGORITHM (ALOA)	35
Т.С. Мустафин ОБ НАИБОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНОМ ДВИЖЕНИИ ОТРЕЗКА НА ПЛОСКОСТИ	42
А.А. Татин ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГЕОЭЛЕКТРИКИ	44
К.Т. Исаков ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ	54

СЕКЦИЯ 5

Алимжан кызы Ж., Кайрыев Н.Ж. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ВОДЫ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ	65
В.И. Ткачев, О.Д. Соколова ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ	69
С.А. Мустафин СОВМЕСТНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕГИОНА	74
С.А. Мустафин, А.К. Козбакова, А.Д. Кумарханов, О.С. Шарип ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ	78
Дж.О. Усенканов, Н.М. Бакирова СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ	80
В. Вуйцик, П. Кисала, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова, М. Кунелбаев, Ж.С. Айткулов, Л.Ш. Черикбаева, А.У. Утегенова, Т. Орманов МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА	86
Д.К. Ким, Г. Георгиев ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОЙ ВМЕСТИМОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	99

СЕКЦИЯ 7

Г.М. Кененбаева, Л. Аскар кызы, А. Султанкул кызы, Ж.К. Бейшебаева НЕДОСТАТКИ И РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	109
--	-----

Б.Р. Сабитов, А.О. Рыспаев, Ш. Жусупкелдиев, А.Дж. Картанова, Э.А. Эшаров, С. Эргешбай уулу ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА	115
Б.И. Бийбосунов, Б.Р. Сабитов, С.К. Бийбосунова, М. Асанкулова, Н.С. Сейткадиева РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА	122

СЕКЦИЯ 9

Е.Е. Бегимбаева, Т.М. Жаксалыков, А. Ахтанов, Р. Пашкевич, О.А. Усатова ПРОТОКОЛ БЕСЦЕНТРОВОГО КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ СУПЕРПОЗИЦИИ	131
А.М. Самуйлова ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ	136
О.А. Усатова, Ш.Н. Макиленов, Е.Е. Бегимбаева КОНЦЕПЦИЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ РИСКА С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ	145

СЕКЦИЯ 10

М. Mansurova, В. Belgibayev, S. Abdrakhim, Zh. Baigarayeva, A. Boltaboyeva AUTO-START SOLUTION WITH NEURAL VIDEO VISION FOR POWERING UP TRAFFIC MANAGEMENT	154
М. Толганбаева, А.А. Орманбекова, Е.С. Тургынбеков ФОСФОРИТ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ АГЛОМЕРАЦИЯ ҮРДСІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУДЫ ҮЛГІЛЕУ	163
М.Ш. Джунисбеков, А.А. Орманбекова, Е.С. Тургынбеков, Б.Б. Тлемисов КӨШЕЛЕРДІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖАРЫҚТАНДЫРУ: ЗАМАНАУИ ҚАЛАЛАР ҮШІН СОҒЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	169

СЕКЦИЯ 11

В.Б. Баракнин, М.В. Карпов, Е.П. Мачикина, Р.Р. Мусабаев ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ АНАЛИЗА КОРПУСОВ ТЕКСТОВ	175
Д.Р. Рахимова, Р.Р. Галимова, Э.Т. Тұрарбек, Д.Е. Давлетов, М. Бикен БАЛАЛАРҒА АРНАЛҒАН АРНАЙЫ ЛОГОПЕДИЯЛЫҚ ОҚЫТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ӨЗІРЛЕУ АРХИТЕКТУРАСЫ	184
Д.Р. Рахимова, А.Т. Турарбек ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЗАҢНАМАСЫ САЛАСЫНДАҒЫ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ	192

СЕКЦИЯ 12

D. Moldakhmetov, M. Mansurova, В. Belgibayev, Zh. Baigarayeva, T. Sarsembayeva, A. Ospan AI-POWERED TRAFFIC MANAGEMENT FOR BUSY INTERSECTIONS	199
А. Толеу, Г. Толеген, Р. Мусабаев, Б. Жумажанов, А. Красовицкий СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕР РАССТОЯНИЯ ДЛЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СМЕНЫ ДИКТОРА	210
А.М. Альжанов, К.К. Рахымбек ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭМБЕДДИНГОВ СЛОВ	211
М.Т. Аршидинова, А.Б. Джаксылыкова ОҚИҒАЛАР МЕН ҒАРЫШ ҚЫЗМЕТІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАР ТУРАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАЛМАҒАН АҚПАРАТТЫ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ ҮШІН ОНТОЛОГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ	217
С.Т. Нұрсапа, И.М. Уалиева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТРИКИ BLEU И SARI В ОЦЕНКЕ УПРОЩЕННЫХ ТЕКСТОВ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: АНАЛИЗ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ	221

СЕКЦИЯ 13

Т.Ж. Мазакон, Ш.А. Джомартова, А.Т. Мазакон, Г.З. Зиятбекова, М.С. Алиаскар, А.Т. Жақсымбет ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ЗАПОЛНЕННОСТИ ВОДОЕМА	230
Г.И. Жолдангарова ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА: СОЗДАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА БАЗЕ ARDUINO	239
Igor N. Skopin AN APPROACH TO REPRESENTING TIME IN MODELING DEVELOPING SYSTEMS	245

МАТЕРИАЛЫ

XX Международной Азиатской школы-семинара
«ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ»

Под редакцией *М.Н. Калимолдаева*

Компьютерная верстка *Г.З. Зиятбекова*

Подписано в печать 12.08.2024 г. Формат А4
Печать цифровая. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16.38
Тираж 500 экз. Заказ № 006605
Отпечатано в типографии ИИВТ КН МНВО РК
г. Алматы, ул. Шевченко, 28