



ISSN 1728-7901

Индекс 74231

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық
университеті

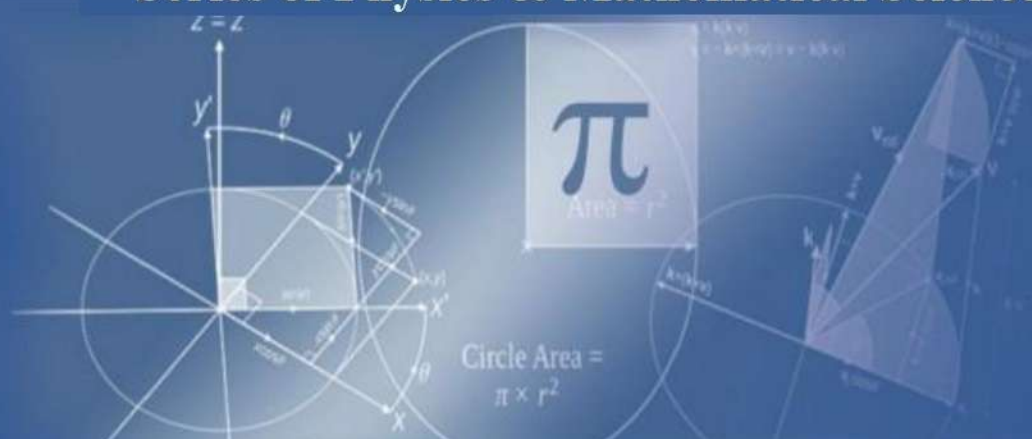
Казахский национальный педагогический
университет имени Абая

ЖАБАРШЫ ВЕСТНИК BULLETIN

«Физика-математика ғылымдары» сериясы

серия «Физико-математические науки»

Series of Physics & Mathematical Sciences



№ 2(78)

2022

ISSN 1728-7901

Индекс 74231

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті
Казахский национальный педагогический университет имени Абая
Abai Kazakh National Pedagogical University

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары» сериясы
Серия «Физико-математические науки»
Series of Physics & Mathematical Sciences
№2(78)

Алматы, 2022

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

ХАБАРШЫ
«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №2 (78), 2022 ж.

Бас редактор:
ф.-м.ғ.д. М.А. Бектемесов

Редакция алқасы:

Бас ред.орынбасары:
т.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі Г.Уалиев,
п.ғ.д., Е.Ы. Бидайбеков,
ф.-м.ғ.д., ҚР ҰҒА корр-мүшесі В.Н. Косов

Жауапты хатшылар:
п.ғ.к. Ш.Т. Шекербекова,
п.ғ.к. Г.А. Абдулкаримова

Редакциялық алқа мүшелері:
Dr.Sci. К.Алихан (Japan),
Phd.d. А.Сабата (Spain),
Phd.d. Е.Ковачева (Bulgaria),
Phd.d. М.Ружанский (England),
п.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі
А.Е. Абылкасымова,
т.ғ.д., ҚР ҰҒА корр-мүшесі Е.Амиргалиев,
ф.-м.ғ.д. А.С. Бердышев,
т.ғ.д. С.Г. Григорьев (Ресей),
п.ғ.д. В.В. Гриншкун (Ресей),
ф.-м.ғ.д. С.И. Кабанихин (Ресей),
ф.-м.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі
М.Н. Калимолдаев,
ф.-м.ғ.д. Ф.Ф. Комаров
(Республика Беларусь),
т.ғ.д. М.К. Кұлбек,
ф.-м.ғ.д. В.М. Лисицин (Ресей),
п.ғ.д. Э.М. Мамбетакунов
(Қырғыз Республикасы),
ф.-м.ғ.д. С.Т. Мухамбетжанов
п.ғ.д. Н.И. Пак (Ресей),
ф.-м.ғ.д. С.Қ. Сахиев,
п.ғ.д. Б.Д. Сыдықов,
т.ғ.д., ҚР ҰҒА корр-мүшесі А.К. Тулешов,
т.ғ.д., ҚР ҰҒА корр-мүшесі З.Г. Уалиев,
т.ғ.к. Ш.И. Хамраев

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2022

Қазақстан Республикасының Ақпарат министрлігінде тіркелген
№ 4824 – Ж - 15.03.2004
(Журнал бір жылда 4 рет шығады)
2000 жылдан бастап шығады

Басуға 27.06.2022 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 33,4 е.б.т.
Таралымы 300 дана. Тапсырыс 90.

050010, Алматы қаласы,
Достық даңғылы, 13
Абай атындағы ҚазҰПУ-ің “Ұлағат” баспасы

М а з м ұ н ы
С о д е р ж а н и е
C o n t e n t

МАТЕМАТИКА

MATHEMATICS

Bokayev N.A., Onerbek Zh.M.
Calderon-Zigmund singular integral in the Morrey-type spaces with variable exponents..... 7

Жумагазиев А.Х.
Приведение к каноническому виду многопериодических матричных операторов дифференцирования..... 14

Утесова Г.И., Утесов А.Б.
Жылуөткізгіштік теңдеуінің шешімдерін компьютерлік (есептеуіш) диаметр зерттеуі аясында дискреттеу..... 23

Утесов А.Б.
Об оптимальном интегрировании функций по их неточным значениям..... 32

**ЕСЕПТЕУ МАТЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ
МОДЕЛЬДЕУ**

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**COMPUTER MATHEMATICS AND MATHEMATICAL
MODELING**

Babich V.V.
Econometric dynamic investment model on the example of the data of the republic of Kazakhstan..... 41

Baigereyev D.R., Omariyeva D.A., Boranbek K.
Stabilized finite element method for determining saturation in the non-equilibrium flow problem 50

Бектемесов М.А., Кабанихин С.И., Курьшбаев Е.Ж.
Визуализация области устойчивости разностной задачи Коши в комплексной плоскости 59

Rysbailu B., Karashbayeva Zh.O.
Methods of finding diffusion and thermal conductivity coefficients of heat and mass transfer 67

**ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ
ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL
SYSTEMS**

Iskakova K.
The modeling of crystal wave functions through potentials 76

Казахский национальный педагогический университет имени Абая

ВЕСТНИК
Серия «Физико-математические науки»
№2 (78), 2022 г.

Главный редактор:
д.ф.-м.н. Бектемесов М.А.

Редакционная коллегия:

Зам.главного редактора:
д.ф.-м.н., академик НАН РК Уалиев Г.,
д.п.н. Бидайбеков Е.Ы.,
д.ф.-м.н., член-корр. НАН РК Косов В.Н.,

Ответ. секретари:
к.п.н. Шекербекова Ш.Т.,
к.п.н. Абдулкаримова Г.А.

Члены редколлегии:

Dr.Sci. Alimhan K. (Japan),
Phd.d. Cabada A. (Spain),
Phd.d Kovatcheva E. (Bulgaria),
Phd.d. Ruzhansky M. (England),
д.п.н., академик НАН РК Абылкасымова А.Е.,
д.т.н., член-корр. НАН РК Амиргалиев Е.,
д.ф.-м.н. Бердышев А.С.,
д.т.н. Григорьев С.Г. (Россия),
д.п.н. Гриншкун В.В. (Россия),
д.ф.-м.н. Кабанихин С.И. (Россия),
д.ф.-м.н., академик НАН РК
Калимолдаев М.Н.,
д.ф.-м.н. Комаров Ф.Ф.
(Республика Беларусь),
д.т.н. Кулбек М.К.,
д.ф.-м.н. Лисицин В.М. (Россия),
д.п.н. Мамбетакунов Э.М.
(Киргизская Республика),
д.ф.-м.н. Мухамбетжанов С.Т.,
д.п.н. Пак Н.И. (Россия),
д.ф.-м.н. Сахнев С.Қ.,
д.п.н. Сыдықов Б.Д.,
д.т.н., член-корр. НАН РК Тулешов А.К.,
д.т.н., член-корр. НАН РК Уалиев З.Г.,
к.т.н. Хамраев Ш.И.

© Казахский национальный педагогический университет им. Абая, 2022

Зарегистрирован в Министерстве информации
Республики Казахстан,
№ 4824 - Ж - 15.03.2004
(периодичность – 4 номера в год)
Выходит с 2000 года

Подписано в печать 27.06.2022.
Формат 60x84 1/8. Об. 33,4 уч.-изд.л.
Тираж 300 экз. **Заказ 90.**

050010, г. Алматы, пр. Достык, 13,
Издательство «Ұлағат» КазНПУ им. Абая

Саймбетов А.К., Джапашов Н.М., Нұрғалиев М.К.,
Құттыбай Н.Б., Қошқарбай Н.Ж.

Оптимальный режим двухсторонней диффузии в
монокристалл кремния для детекторов ядерного излучения ..

82

ИНФОРМАТИКА

COMPUTER SCIENCE

Абдувалова А.Д., Абдимомынова М.М.

Граф-сызбаны пайдаланып көлік логистикасында
оңтайландыру мәселелерін шешу

87

Бакыт А., Смагулов Е.С., Маден С.Б., Жексебай Д.М.,
Кожажулов Е.Т.

Голосовой помощник на основе глубокого обучения

95

Ералханова А.Т., Есенбай М.А., Мухтарова А.К.,
Жексебай Д.М., Кожажулов Е.Т.

Распознавание речевых эмоций с помощью машинного
обучения

102

Zakirova A.B., Koshanova D.K., Bostanov V.G.

Analysis of information systems in the development of
educational programs for elective courses

109

Зиро А.А., Турсумбаев Д.Р., Жайбергенова Ж.А.,
Тойбаева Ш.Д.

White Box әдісі көмегімен енгізу тестін өткізу

118

Калимолдаев М.Н., Абдилдаева А.А., Шермантаева Ж.У.,
Войчик В.

IoT технологиясы негізінде электр энергетикасы саласын
дамыту мәселелері

126

Мукажанов Н.К., Толегенов А.М.

Логистикалық деректердің көп өлшемді моделін құру және
визуализациялау

134

Пирманов И.А., Айнакулов Ж.Ж., Зуев Д.В., Астапенко
Н.В., Федоров И.О., Кошеков К.Т.

Методика разработки обучающих программных средств VR
для ремонта авиационной техники

143

Рахимова Д.Р., Бурибаев Б.Б., Турарбек Ә.Т.,
Кенесова Н.А.

IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде
қолданылатын әдістерге шолу

150

Сериков М.К., Алимжанова Л.М., Исабаева Д.Н., Зор А.

Использование больших данных в социальном медиа
маркетинге.....

160

Урмашев Б.А., Касенов С.Е., Темирбеков А.Н.,
Сагимбаева Л.А.

Фармакокинетиканы моделдеуге арналған кинетикалық
солвер

171

Черикбаева Л.Ш., Түркістан Б.Е.

Медициналық мәліметтерді өндеуде машиналық оқытудың
тиімді алгоритмдерін қолдану және зерттеу

179

Abai Kazakh National
Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№2 (78), 2022.

Editor-in-Chief
Dr. Sci. Bektemesov M.A.

Deputy Editor-in-Chief:
Dr. Sci., Academician of NAS RK Ualiyev G.,
Dr. Sci. (Ped.), Bidaibekov Ye.Y.,
Dr. Sci., Corresponding member
of the NAS of RK Kosov V.N.,

Responsible editorial secretary:
Cand. Sci. (Ped.) Shekerbekova Sh.
Cand. Sci. (Ped.) Abdulkarimova G.A.

Editorial board:

Dr.Sci. Alimhan K. (Japan),
Phd.d. Cabada A. (Spain),
Phd.d Kovatcheva E. (Bulgaria),
Phd.d. Ruzhansky M. (England),
Dr. Sci. (Ped.), Academician NAS of RK
Abylkasymova A.Ye.,
Dr.Sci.(Engineering), Corresponding member
of the NAS of RK Amirgaliyev Ye.,
Dr. Sci. Berdyshev A.S.
Dr.Sci. Grigoriev S.G. (Russia),
Dr.Sci. Grinshkun V.V. (Russia),
Dr.Sc. Kabanikhin S.I. (Russia),
Dr. Sci., Academician of the NAS of RK
Kalimoldayev M.N.,
Dr. Sci. Komarov F.F., (Republic of Belarus),
Dr.Sci.(Engineering) Kulbek M.K.,
Dr. Sci.Liscin V.M. (Russia),
Dr. Sci. (Ped.) Mambetkunov E.M.
(Kyrgyz Republic),
Dr. Sci. Mukhambetzhano S.T.,
Dr. Sci. (Ped.) Pak N.I. (Russia),
Dr.Sc. Sakhiev S.K.,
Dr. Sci. (Ped.) Sydykov B.D.,
Dr.Sci.(Engineering), Corresponding member
of the NAS of RK Tuleshov A.K.,
Dr. Sci., Corresponding member
of the NAS of RK Ualiyev Z.G.,
Cand. Sci. Khamraev Sh.I.

© Abai Kazakh National Pedagogical
University, 2022

Registered in the Ministry of Information of the
Republic of Kazakhstan,
№ 4824 - Ж - 15.03.2004
(Periodicity: 4 issues per year)
Published since 2000

Signed to print 27/06/2022
Format 60x84 1/8. Vol. 33,4 p.
Printing 300 copies. Order 90.

Publishing and Editorial:
050010, 13 Dostyk av., Almaty, Kazakhstan
Publisher "Ulagat" Abai KazNPU

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.
БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.
INFORMATIZATION OF EDUCATION

- Абилмажинова Б.С., Байбақтина А.Т., Муслимова А.К.
MatLab жүйесінде тест сапасын математико-статистикалық
өңдеу..... 188
- Ақжолова А.А., Камалова Г.Б., Хеннер Е.К.,
Байзақова Е.М.
Мектептің информатика-математикалық білім беру
жүйесінде әл-Фарабидің тригонометриясын оқытудың
қажеттілігі туралы 195
- Исабаева Д.Н., Назкенова Б.Б., Мексебаев Н.О.
Қашықтан оқыту жағдайында педагогтің цифрлық
құзыреттілігін қалыптастыру жолдары 206
- Мадьярова Г.А., Ешенқожаев Н.Ш.
Орта мектепте Python программалау тілін оқыту әдістемесі 212
- Нурбекова Ж.К., Баймендинова А.Н.
Оқыту барысында виртуалды объектілерді қолдануға жүйелі
шолу 220
- Нурбекова Ж.К., Сағымбаева А.Е., Байғушева К.М.,
Найманова Д.С., Досымбек Д.М.
Сараптау электрондық платформасының тұжырымдамалық
негіздері 228
- Ошанова Н.Т., Қиынова Ж.Қ., Құрманқұлова Ә.Қ.
Цифрлық алшақтық мәселесі және оны жеңу тәсілдері 237
- Темирханова М. С., Абильдинова Г. М.,
Кажиякпарова Ж.С.
Информационное обеспечение и опыт учителей во время
дистанционного обучения 244
- Турганбаева А.Р., Шахан А.Е.
Әлеуметтік сауалнама нәтижелері: цифрландырудың жоғары
оқу орындарындағы білім алушыларға әсері 252
- Усеинов Б.М., Солодовник А.А., Шаймерденова М.А.,
Байжигитова Л.О.
Особенности подготовки к единому национальному
тестированию в малокомплектных школах в рамках
дистанционного обучения 260

МАТЕМАТИКА

MATHEMATICS

МРНТИ 42В20, 42В25
УДК 512.51

<https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.01>

CALDERON-ZIGMUND SINGULAR INTEGRAL IN THE MORREY-TYPE SPACES WITH VARIABLE EXPONENTS

Bokayev N.A.¹, Onerbek Zh.M.^{2}*

¹ *Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan*

² *Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

**e-mail: onerbek.93@mail.ru*

Abstract

In this paper we consider global Morrey spaces $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponents $p(\cdot)$, $\theta(\cdot)$, where $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ is an unbounded set. The questions of boundedness of the singular integral operator and its commutator in these spaces are investigated. We give the conditions for the variable exponent $(\theta_1(\cdot), \theta_2(\cdot))$ and for the functions $(w_1(\cdot), w_2(\cdot))$ under which the singular integral operator T will be bounded from $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$. The same conditions for the boundedness of the commutator of the singular integral operator in these spaces are obtained. In the case when the exponents p, θ are constant numbers, the questions of boundedness of the singular integral operator and its commutator in global spaces were previously studied by other authors. There are also well-known results on the boundedness of a singular integral operator in the global Morrey-type spaces with variable exponents when the set $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ is bounded.

Keywords: singular integral operator, commutator, boundedness, Morrey-type spaces, variable exponents, unbounded set, Holder inequality.

Аңдатпа

Н.А. Бокаев¹, Ж.М. Онербек²

¹ *Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан*

² *Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан*

КӨРСЕТКІШТЕРІ АЙНЫМАЛЫ МОРРИ КЕҢІСТІКТЕРІНДЕГІ КАЛЬДЕРОН-ЗИГМУНД СИНГУЛЯРЛЫҚ ИНТЕГРАЛЫ

Біз бұл жұмыста көрсеткіштері $p(\cdot)$, $\theta(\cdot)$ айнымалы глобалді Морри типтес кеңістіктер $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ қарастырамыз, мұндағы $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ шенелмеген жиын. Осы кеңістіктерде Кальдерона-Зигмунд операторы және оның коммутаторының шенелгендігі туралы мәселелер қарастырылады. $(\theta_1(\cdot), \theta_2(\cdot))$ көрсеткіштері мен $(w_1(\cdot), w_2(\cdot))$ функцияларына сингулярлық интегральдық оператор T $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ кеңістігінен $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$ кеңістігіне шенелгендігін қамтамасыз ететін шарттар алынды. Дәл осы сияқты шарттар көрсетілген кеңістіктерде сингулярлық интегральдық оператордың коммутаторына да алынды. p, θ көрсеткіштері тұрақты болғанда, сингулярлық интеграл және оның коммутаторының глобалді Морри типтес кеңістіктердегі шенелгендігін басқа авторлар зерттеген. $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ жиыны шенелген болған жағдайда да глобалді Морри типтес кеңістіктердегі сингулярлық интегральдық оператордың шенелгендік шарттары да белгілі.

Ключевые слова: сингулярлық интегральдық оператор, коммутатор, шенелгендік, Морри типтес кеңістіктер, айнымалы көрсеткіш, шенелмеген жиын, Гельдер теңсіздігі.

Аннотация

Н.А. Бокаев¹, Ж.М. Онербек²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г.Нур-Султан, Казахстан

²Карагандинский технический университет, г.Караганда, Казахстан

СИНГУЛЯРНЫЙ ИНТЕГРАЛ КАЛЬДЕРОНА-ЗИГМУНДА В ПРОСТРАНСТВАХ ТИПА МОРРИ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В данной работе мы рассматриваем глобальные пространства Морри $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ с переменными показателями $p(\cdot), \theta(\cdot)$, где $\Omega \subset R^n$ является неограниченным множеством. Исследуются вопросы ограниченности сингулярного интегрального оператора Кальдерона-Зигмунда и его коммутатора в этих пространствах. Приведены условия для переменного показателя степени $(\theta_1(\cdot), \theta_2(\cdot))$ и функций $(w_1(\cdot), w_2(\cdot))$ при которых сингулярный интегральный оператор T будет ограничен из $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ в $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$. Получены такие же условия ограниченности коммутатора сингулярного интегрального оператора в этих пространствах. В случае, когда показатели p, θ являются постоянными числами, вопросы ограниченности сингулярного интегрального оператора и его коммутатора в глобальных пространствах ранее изучались другими авторами. Известны также результаты об ограниченности сингулярного интегрального оператора в глобальных пространствах типа Морри с переменными показателями, когда множество $\Omega \subset R^n$ ограничено.

Ключевые слова: сингулярный интегральный оператор, коммутатор, ограниченность, пространства типа Морри, переменный показатель, неограниченное множество, неравенство Гельдера.

1. Introduction

The Morrey space $M_{p,\lambda}$ first appeared in [1] in connection with the study of solutions of partial differential equations. The boundedness of the classical integral operators of harmonic analysis in the global Morrey-type spaces $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ with constant exponents p, θ are well studied (see, for example [2]).

Lebesgue space with variable exponent and the boundedness of classical operators in these spaces are studied in ([3]-[4]).

The Morrey-type space $L_{p(\cdot),\lambda(\cdot)}$ with variable exponents is also well studied (see [5]). The generalized Morrey-type space $M_{p(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponent in the case of a bounded set $\Omega \subset R^n$ was introduced and studied in [6] and in the case of an unbounded set Ω was studied in [7].

The Calderón-Zygmund singular integral operator is defined by

$$Tf(x) = \int_{R^n} K(x,y)f(y)dy.$$

Here the kernel is a $K(x,y)$ -continuous function on $\Omega \times \Omega$ and satisfies the following conditions

$$|K(x,y)| < C|x-y|^{-n} \quad \text{for all } x \neq y,$$

$$|K(x,y) - K(x,z)| \leq C \frac{|y-z|^\delta}{|x-y|^{n+\delta}}, \quad \delta > 0, \quad \text{if } |x-y| > 2|y-z|,$$

$$|K(x,y) - K(\xi,y)| \leq C \frac{|x-\xi|^\delta}{|x-y|^{n+\delta}}, \quad \delta > 0, \quad \text{if } |x-y| > 2|x-\xi|.$$

Boundedness of the Calderon-Zygmund singular integral operator in generalized Morrey-type spaces with variable exponent was studied in [6] in the case of a bounded set

$\Omega \subset R^n$, in the case of an unbounded set $\Omega \subset R^n$ in [7].

Here and below, we denote by $B(x,r)$ the ball centered at the point $x \in R^n$ and radius $r > 0$, $B(x,r) = \overline{B(x,r)} \cap \Omega$, $\Omega \subset R^n$.

The space $BMO(\Omega)$ is defined as the space of all integrable functions f with finite norm

$$\|f\|_{BMO} = \|f\|_* = \sup_{x \in \Omega, r > 0} |B(x,r)|^{-1} \int_{\overline{B(x,r)}} |f(y) - f_{\overline{B(x,r)}}| dy,$$

where $f_{\overline{B(x,r)}} = |B(x,r)|^{-1} \int_{\overline{B(x,r)}} f(y) dy$.

Let $b \in BMO(\Omega)$. The commutator of is defined by Calderón-Zygmund singular integral operator is defined by

$$[b, T]f = T(bf) - b(Tf) = \int_{R^n} K(x, y)(b(y) - b(x))f(y)dy.$$

Boundedness of the commutator's Calderón-Zygmund singular integral operator in the generalized Morrey type spaces was investigated in [8].

Boundedness of the Hardy operator in the variavle exponent Lebesgue spaces was studied in [9].

2. Basic definitions. Preliminary results

Let $p(x)$ be a measurable function on $\Omega \subset R^n$ with values $(1, \infty)$. Let

$$1 < p_- \leq p(x) \leq p_+ < \infty, \tag{2.1}$$

where

$$p_- = p_-(\Omega) = \text{essinf}_{x \in \Omega} p(x), \quad p_+ = p_+(\Omega) = \text{esssup}_{x \in \Omega} p(x).$$

We denote by $L_{p(\cdot)}(\Omega)$ the space of all measurable functions on Ω , such that

$$J_{p(\cdot)}(f) = \int_{\Omega} |f(x)|^{p(x)} dx < \infty,$$

where the norm is defined as follows

$$\|f\|_{p(\cdot)} = \inf \left\{ \eta > 0, J_{p(\cdot)} \left(\frac{f}{\eta} \right) \leq 1 \right\}.$$

This is a Banach space (see [8]). The conjugate exponent p' is defined by the formula

$$p'(x) = \frac{p(x)}{p(x)-1}.$$

The Holder inequality for variable exponents $p(\cdot), p'(\cdot)$ (see, for example [8]):

$$\int_{\Omega} |f(x)g(x)| dx \leq C(p) \|f\|_{L_p(\Omega)} \|g\|_{L_{p'}(\Omega)}.$$

Let $P(\Omega)$ be the set of measurable functions $p(x)$ for which $p: \Omega \rightarrow [1, \infty)$, $P^{log}(\Omega)$ is the set of all measurable functions $p(x)$ satisfying the local logarithmic condition:

$$|p(x) - p(y)| \leq \frac{A_p}{-\ln|x-y|}, \quad |x - y| \leq \frac{1}{2}, \quad x, y \in \Omega,$$

where the constant number A_p does not depend on x and y . $P^{log}(\Omega)$ is the set of all measurable functions $p(x)$ satisfying (2.1) and the local logarithmic condition. In the case where Ω is an unbounded set, we denote by $P_{\infty}^{log}(\Omega)$ a subset of the set $P^{log}(\Omega)$ satisfying logarithmic condition at infinity:

$$|p(x) - p(\infty)| \leq \frac{A_{\infty}}{\ln(2+|x|)}, \quad x \in R^n.$$

Let Ω be a bounded open set, $p \in P^{log}(\Omega)$ and $\lambda(x)$ be a measurable function on Ω with values on $[0, n]$. The Morrey spaces $L_{p(\cdot), \lambda(\cdot)}$ with variable exponents $p(\cdot), \lambda(\cdot)$ were introduced in [5] with the norm

$$\|f\|_{L_{p(\cdot), \lambda(\cdot)}} = \sup_{x \in \Omega, t > 0} t^{-\frac{\lambda(x)}{p(x)}} \|f\|_{B(x, t)}.$$

Let $w(x, r)$ be a positive measurable function on $\Omega \times (0, l)$, where Ω is a bounded set, $l = \text{diam}\Omega$. The generalized Morrey spaces $M_{p(\cdot), w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponent on a bounded domain $\Omega \subset R^n$ were defined in [6] with norm

$$\|f\|_{M_{p(\cdot), w(\cdot)}} = \sup_{x \in \Omega, r > 0} \frac{r^{-\frac{n}{p(x)}}}{w(x, r)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))}.$$

Let $w(x, r)$ be a positive measurable function on $\Omega \times (0, l)$, where Ω is a bounded set, $l = \text{diam}\Omega$, a measurable function $\theta(r): (0, l) \rightarrow [1, \infty]$. The Morrey spaces $M_{p(\cdot), \theta(\cdot), w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponents t on a bounded domain $\Omega \subset R^n$ were defined in [8] with the norm

$$\|f\|_{M_{p(\cdot), \theta(\cdot), w(\cdot)}} = \sup_{x \in \Omega} \left\| w(x, r) r^{-\frac{n}{p(x)}} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))} \right\|_{L_{\theta(\cdot)}(0, l)}.$$

Let $w(x, r)$ be a positive measurable function on $\Omega \times (0, \infty)$, where Ω is a unbounded set. The generalized Morrey spaces $M_{p(\cdot), w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponent on an unbounded domain $\Omega \subset R^n$ were defined in [7] with norm

$$\|f\|_{M_{p(\cdot), w(\cdot)}} = \sup_{x \in \Omega, r > 0} \frac{\|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))}}{w(x, r)}.$$

We introduce global Morrey-type spaces with variable exponents on unbounded domains. Let's put

$$\eta_p(x, r) = \begin{cases} \frac{n}{p(x)}, & \text{if } r \leq 1 \\ \frac{n}{p(\infty)}, & \text{if } r > 1. \end{cases}$$

Definition 1. Let $p \in P_{\infty}^{\text{log}}(\Omega)$, $w(x, r)$ be a positive measurable function on $\Omega \times (0, \infty)$, where $\Omega \subset R^n$ is a unbounded set, a measurable function $\theta(r): (0, \infty) \rightarrow [1, \infty]$. The global Morrey-type spaces $GM_{p(\cdot), \theta(\cdot), w(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponents $p(\cdot), \theta(\cdot)$ defined as the set of functions with finite norm

$$\|f\|_{GM_{p(\cdot), \theta(\cdot), w(\cdot)}(\Omega)} = \sup_{x \in \Omega} \left\| w(x, r) r^{-\eta_p(x, r)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))} \right\|_{L_{\theta(\cdot)}(0, \infty)},$$

for $1 \leq \theta(r) < \infty$, with finite norm

$$\|f\|_{GM_{p(\cdot), \infty, w(\cdot)}(\Omega)} = \sup_{x \in \Omega, r > 0} w(x, r) r^{-\eta_p(x, r)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))},$$

for $\theta(r) = \infty$.

Note that, the space $GM_{p(\cdot), \infty, w(\cdot)}(\Omega)$ coincides with the generalized Morrey-type space $M_{p(\cdot), w_1(\cdot)}(\Omega)$ with variable exponent, where $w_1(x, r) = \frac{r^{\eta_p(x, r)}}{w(x, r)}$.

In the case of $w(x, r) = r^{\eta_p(x, r) - \frac{\lambda(x)}{p(x)}}$ we denote the indicated space by via $GM_{p(\cdot), \theta(\cdot)}^{\lambda(\cdot)}(\Omega)$:

$$GM_{p(\cdot), \theta(\cdot)}^{\lambda(\cdot)}(\Omega) = GM_{p(\cdot), \theta(\cdot), w(\cdot)} \Big|_{w(x, r) = r^{\eta_p(x, r) - \frac{\lambda(x)}{p(x)}}}(\Omega),$$

$$\|f\|_{GM_{p(\cdot), \theta(\cdot)}^{\lambda(\cdot)}(\Omega)} = \sup_{x \in \Omega} \left\| r^{-\frac{\lambda(x)}{p(x)}} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))} \right\|_{L_{\theta(\cdot)}(0, \infty)}.$$

If $p(x) = p = const$, $\theta(r) = \theta = const$, then the space $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ coincides with the well-known ordinary global Morrey space $GM_{p,\theta,w}(\Omega)$.

The following condition gives a sufficient condition under which the space $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ is not trivial:

$$\sup_{x \in \Omega} \|w(x, r)\|_{L_{\theta(\cdot)}(0, \infty)} < \infty.$$

In this case the space $GM_{p(\cdot),\theta(\cdot),w(\cdot)}(\Omega)$ contains bounded functions.

We need the next theorem, which was proved in [7].

Theorem 1. Let $p \in P_{\infty}^{log}(\Omega)$. Then

$$\|Tf\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} \leq Ct^{\eta_p(x,t)} \int_t^{\infty} r^{-\eta_p(x,r)-1} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,r))} dr,$$

where C is independent of $f, x \in \Omega$ and $t > 0$.

The next theorem was proved in [10].

Theorem 2. Let $p \in P_{\infty}^{log}(\Omega)$ and $b \in BMO(\Omega)$. Then

$$\|[b, T]\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} \leq Cb_* t^{\eta_p(x,t)} \int_t^{\infty} (1 + \ln \frac{r}{t}) r^{-\eta_p(x,r)-1} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,r))} dr,$$

where C is independent of $f, x \in \Omega$ and $t > 0$.

3. Main Results

Theorem 3. Let $p \in P_{\infty}^{log}(\Omega)$ and $\theta_1(r), \theta_2(r)$ are measurable functions on R_+ , such that $1 < \theta_{1-} \leq \theta(r) \leq \theta_{1+} < \infty$, $1 < \theta_{2-} \leq \theta(r) \leq \theta_{2+} < \infty$. Suppose that the measurable functions $w_1(x, r)$ and $w_2(x, r)$ satisfy the condition

$$A = \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \left\| \frac{1}{w_1(x, t)t} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} < \infty.$$

Then the Calderon-Zygmund integral operator T is bounded from $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$.

Proof. Using the Theorem 1 and the Holder inequality with exponents $\theta_1(\cdot), \theta'_1(\cdot)$, we have:

$$\begin{aligned} & \|Tf\|_{GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)} = \\ & \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) r^{-\eta_p(x,r)} \|Tf\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,r))} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \leq \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \int_r^{\infty} t^{-\eta_p(x,t)-1} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} dt \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} = \\ & = C \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \int_r^{\infty} w_1(x, t) t^{-\eta_p(x,t)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} \frac{1}{w_1(x, t)t} dt \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \left\| \frac{1}{w_1(x, t)t} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \left\| w_1(x, t) t^{-\eta_p(x,t)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \leq \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \left\| \frac{1}{w_1(x, t)t} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \sup_{x \in \Omega} \left\| w_1(x, t) t^{-\eta_p(x,t)} \|f\|_{L_{p(\cdot)}(B(x,t))} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(0, \infty)} \\ & = \end{aligned}$$

$$= CA\|f\|_{GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)}.$$

This means that, the Calderon-Zygmund integral operator T is bounded from $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$. The Theorem 3 is proved.

Theorem 4. Let $p \in P_{\infty}^{log}(\Omega)$, $b \in BMO(\Omega)$ and $\theta_1(r)$, $\theta_2(r)$ are measurable functions on R_+ , such that $1 < \theta_{1-} \leq \theta(r) \leq \theta_{1+} < \infty$, $1 < \theta_{2-} \leq \theta(r) \leq \theta_{2+} < \infty$. Suppose that the measurable functions $w_1(x, r)$ and $w_2(x, r)$ satisfy the condition

$$B = \sup_{x \in \Omega} \left\| \frac{w_2(x, r)}{r} \left\| \frac{1}{w_1(x, t)} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} < \infty.$$

Then the commutator $[b, T]$ is bounded from $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$.

Proof. Using the Theorem 2, the inequality $1 + \ln \frac{t}{r} < \frac{t}{r}$ for $0 < r < t$ and the Holder inequality with exponents $\theta_1(\cdot)$, $\theta_1'(\cdot)$, we have:

$$\begin{aligned} & \| [b, T]f \|_{GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)} = \\ & = \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) r^{-\eta_p(x, r)} \| [b, T]f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \leq \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| w_2(x, r) \int_r^\infty (1 + \ln \frac{t}{r}) t^{-\eta_p(x, t) - 1} \| f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, t))} dt \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \leq \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| \frac{w_2(x, r)}{r} \int_r^\infty t^{-\eta_p(x, t)} \| f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, t))} dt \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} = \\ & = C \sup_{x \in \Omega} \left\| \frac{w_2(x, r)}{r} \int_r^\infty w_1(x, t) t^{-\eta_p(x, t)} \| f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, t))} \frac{1}{w_1(x, t)} dt \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| \frac{w_2(x, r)}{r} \left\| \frac{1}{w_1(x, t)} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \left\| w_1(x, t) t^{-\eta_p(x, t)} \| f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, t))} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \\ & \leq C \sup_{x \in \Omega} \left\| \frac{w_2(x, r)}{r} \left\| \frac{1}{w_1(x, t)} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(r, \infty)} \right\|_{L_{\theta_2(\cdot)}(0, \infty)} \sup_{x \in \Omega} \left\| w_1(x, r) r^{-\eta_p(x, r)} \| f \|_{L_{p(\cdot)}(B(x, r))} \right\|_{L_{\theta_1(\cdot)}(0, \infty)} \\ & = CB\|f\|_{GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)}. \end{aligned}$$

This means that, the commutator $[b, T]$ is bounded from $GM_{p(\cdot),\theta_1(\cdot),w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot),\theta_2(\cdot),w_2(\cdot)}(\Omega)$. The Theorem 4 is proved.

4. Conclusion

We have obtained the sufficient conditions of the boundedness of the Calderon-Zygmund singular integral operator and its commutator in the global Morrey-type spaces with variable exponents.

We gave the conditions for the variable exponent $(\theta_1(\cdot), \theta_2(\cdot))$ and for the functions $(w_1(\cdot), w_2(\cdot))$ under which the singular integral operator T will be bounded from $GM_{p(\cdot), \theta_1(\cdot), w_1(\cdot)}(\Omega)$ to $GM_{p(\cdot), \theta_2(\cdot), w_2(\cdot)}(\Omega)$.

References:

- 1 Morrey C.B., *On the solutions of quasi-linear elliptic partial differential equations.* // *Trans.Am.Math.Soc.*43 (1938), 126-166.
- 2 Burenkov. V, Guliyev. V, Serbetci. A, Tararykova. T. *Necessary and sufficient conditions for the boundedness of genuine singular integral operators in local Morrey-type spaces.* // *Eurasian Mathematical Journal*, Volume 1, Number 1(2010), 32-53.
- 3 Stein E. *Harmonic analysis: real variable methods, orthogonality, and oscillatory integrals.* // *Princeton Univ.Press, Princeton, NJ, 1993.*
- 4 Almeida A, Samko. S, *Fractional and hypersingular operators in variable exponent spaces on metric measure spaces.* // *Mediterr.J.Math.*,6(2009), 215-232.
- 5 Almeida A, Hasanov. J., Samko. S, *Maximal and potential operators in variable exponent Morrey spaces .* // *Georgian Mathematical Journal*, Vol.15 (2008), no. 2, 195-208.
- 6 Guliyev, V, Samko S, Hasanov J. *Boundedness of the maximal, potential type and singular integral operators in the generalized variable exponent Morrey spaces.* // *Math.Scand.* – 2010. – Vol.107, – Pp. 285-304. <https://doi.org/10.7146/math.scand.a-15156>
- 7 Guliyev. V, Samko. S, *Maximal, potential, and singular operators in the generalized variable exponent Morrey spaces on unbounded sets.* // *J.Math.Sciences*, Vol.193(2013),228-247. <https://doi.org/10.1007/s10958-013-1449-8>
- 8 Guliyev. V, Hasanov. J, Badalov A., *Maximal and singular integral operators and their commutators on generalized weighted Morrey spaces with variable exponent.* // *Math.Ineq.Appl*, Vol.21(2018), 41-61. DOI:[10.7153/mia-2018-21-04](https://doi.org/10.7153/mia-2018-21-04)
- 9 Edmunds. D , Kokilasvili. V, Meskhi. A *On the boundedness and compactness of weighted Hardy operators in spaces $L_{p(x)}$.* // *Georg.Math.J.*12(2005), Num.1, 27-44.
- 10 L. Diening, P. Harjulehto, P. Hasto, M. Ruzicka *Lebesgue and Sobolev spaces with variable exponents* // *Monograph.* 2010. Pp. 1-493. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.581.2463&rep=rep1&type=pdf>

А.Х. Жумагазиев

*Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан
e-mail: charmeda@mail.ru*

ПРИВЕДЕНИЕ К КАНОНИЧЕСКОМУ ВИДУ МНОГОПЕРИОДИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Аннотация

В статье рассматриваются многопериодические операторы дифференцирования с двумя, тремя и $m+1$ независимыми переменными. Исследуются задачи о приведении к каноническому виду этих операторов. Найдены условия при которых многопериодический оператор переходит в канонический многопериодический оператор. Определено групповое свойство характеристик многопериодического оператора. Найдено соотношение, определяющее нули многопериодического оператора. Доказаны теоремы о приводимости многопериодического оператора дифференцирования к линейному оператору с узкогиперболическим оператором. Следуя идее работ Ж.А.Сартабанова, о приведении квазилинейной системы к каноническому виду, в данной работе разработан метод приведения матричного оператора дифференцирования по $m+1$ переменным к линейному оператору с матричным оператором дифференцирования по m переменным, основанный на переходе вдоль характеристики одной из независимых переменных.

Ключевые слова: многопериодичность, узкогиперболичность, оператор полной производной, канонический вид.

Аңдатпа

Ә.Х. Жұмағазиев

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан КӨПЕРИОДТЫ МАТРИЦАЛЫҚ ДИФФЕРЕНЦИАЛДАУ ОПЕРАТОРЛАРДЫ КАНОНДЫҚ ТҮРГЕ КЕЛТІРУ

Мақалада екі, үш және $m+1$ тәуелсіз айнымалы көпериодты дифференциалдау операторлары қарастырылады. Осы операторларды канондық түрге келтіру мәселелері зерттеледі. Көпериодты оператор канондық көпериодты операторға ауысатын шарттар табылды. Көпериодты оператор сипаттамаларының топтық қасиеті анықталды. Көпериодты оператордың нөлдерін анықтайтын қатынас табылды. Көпериодты дифференциалдау операторының тар гиперболалық операторы бар сызықтық операторға келтірілетіндігі туралы теоремалар дәлелденді. Квазисызықтық жүйені канондық түрге келтіру үшін жүзеге асырылған Ж.А.Сартабановтың жұмыстарының идеясы негізінде, бұл жұмыста $m+1$ айнымалысы бойынша матрицалық дифференциалдау операторын айнымалылардың бірінің характеристикасы бойымен ауысуға негізделген m айнымалысы бойынша матрицалық дифференциалдау операторы бар сызықтық операторға келтіру әдісі жасақталды.

Түйін сөздер: көпериодтылық, тар гиперболалық, толық дифференциалдық оператор, канондық түрі.

Abstract

REDUCTION TO THE CANONICAL FORM OF MULTIPERIODIC MATRIX DIFFERENTIATION OPERATORS

A.Kh. Zhumagaziyev

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

The article deals with multiperiodic differentiation operators with two, three and $m+1$ independent variables. The problems of bringing these operators to the canonical form are investigated. Conditions are found under which a multiperiodic operator turns into a canonical multiperiodic operator. The group property of the characteristics of a multiperiodic operator is determined. The relation defining zeros of the multiperiodic operator is found. Theorems on the reducibility of a multiperiodic differentiation operator to a linear operator with a narrow hyperbolic operator are proved. Following the idea of the works of Zh.A.Sartabanov, on the reduction of a quasilinear system to a canonical form, in this paper, a method has been developed for reducing a matrix differentiation operator with $m+1$ variables to a linear operator with a matrix differentiation operator with m variables, based on the transition along the characteristic of one of the independent variables.

Keywords: multiperiodicity, narrow hyperbolicity, total derivative operator, canonical form.

Введение

Известно [1-6], что общая теория уравнений в частных производных начинается с систем квазилинейных уравнений первого порядка. Их главные части, линейные относительно частных производных неизвестных по всем независимым переменным представляются в виде линейных комбинаций частных производных с матричными коэффициентами, зависящими от неизвестных переменных и искомым функций.

Особый интерес представляет случай, когда эти матричные коэффициенты содержат только независимые переменные и имеет вид, разрешенный относительно одной из частных производных. Изучение их общей теории, как правило, начинается с систем двух независимых переменных. В [1] определяется канонический вид системы и типы таких систем. В [2] наряду с подробным освещением общей теории таких систем, устанавливается связь уравнений в частных производных первого порядка с системами квазилинейных уравнений, имеющими одинаковую главную часть. Вопросам как гладких, так и обобщенных решений систем квазилинейных уравнений гиперболического типа посвящена работа [3]. Замечателен краткий обзор [4] приведенный в его вводной части, где исследование задач для основных канонических уравнений математической физики проводится с переходом к системам квазилинейных уравнений. В [5] придается особое значение переходу от основных задач к задачам для систем квазилинейных уравнений и приводится методика их решения в случае двух независимых переменных с постоянной матрицей. В этих фундаментальных трудах, а также в других исследованиях такого направления, в основном, подробно изучаются системы квазилинейных уравнений двух независимых переменных без обобщений их методов на случай $n > 2$ переменных. Тайна такого обстоятельства заключается в том, что матричные коэффициенты линейной главной части системы уравнений при $n > 2$ не приводится (одновременно) одним преобразованием к соответствующим каноническим видам. Это есть, так называемая размерная трудность, суть которой раскрыта в [6] для случая постоянных матричных коэффициентов. В данной заметке описан метод преодоления этой трудности, идея которого принадлежит профессору Ж.А.Сартабанову, реализованная в [7] к приведению квазилинейной системы к каноническому виду.

Таким образом, рассмотрим оператор D , который действует на n -векторную функцию $x = x(\tau, t)$ аргументов $\tau \in R = (-\infty, +\infty)$, $t = (t_1, \dots, t_m) \in R \times \dots \times R = R^m$ соотношением вида

$$Dx = \frac{\partial x}{\partial \tau} + \sum_{k=1}^m A_k(\tau, t) \frac{\partial x}{\partial t_k} \quad (1)$$

с $n \times n$ -матричными коэффициентами $A_k(\tau, t) = [a_{ij}(\tau, t)]$, $i, j = \overline{1, n}$. (1) называется матричным оператором дифференцирования, где $x = (x_1, \dots, x_n)$, $D = \frac{\partial}{\partial \tau} + \sum_{k=1}^m A_k(\tau, t) \frac{\partial}{\partial t_k}$.

Вопрос о приведении к каноническому виду систем с оператором (1) при $m=1$ рассмотрен в [1, стр. 73-82]. В [1] введены понятия: каноничности системы, ее эллиптичности и гиперболичности, а также гиперболичности в узком смысле.

На важность исследования систем с квазилинейным оператором D обращается особое внимание в работе [5, стр. 214-221] и приводится методика решения векторного уравнения

$$Dx = 0 \quad (2)$$

с постоянными матрицами A_k , когда $k=1$.

Задачи различных направлений для систем вида

$$Dx = f(\tau, t, x), \quad (3)$$

рассмотрены многими авторами [3, стр. 55], [4, стр. 96], [5, стр. 26].

В работе [6, стр. 146-170] изучаются вопросы теории колебаний для систем с оператором D с постоянными матрицами.

Методология исследования

Очевидно, что изучение всякой задачи для векторного уравнения (3) начинается с исследования решений однородного уравнения (2), которые называются нулями оператора D .

Основным методом решения таких уравнений является метод приведения оператора к каноническому виду реализация которого при $m > 1$ связана с нерешенной еще проблемой. Об этой проблеме подробно изложено в [6, стр. 159-166], суть которой сводится к вопросу отсутствия матрицы преобразования, одновременно приводящей к каноническим видам все матрицы A_1, \dots, A_m .

Если все матрицы A_k имеют действительные собственные значения, то уравнение (3) называется гиперболическим.

В частности, если у каждой матрицы A_k собственные значения действительные и различные, то уравнение (3) называется гиперболическим в узком смысле, для которого в постоянном случае было исследовано в работах [8-10].

Приведение матричного оператора дифференцирования с двумя независимыми переменными к оператору полной производной

Рассмотрим многопериодический матричный оператор дифференцирования D , действующий на n -векторную функцию $x = x(\tau, t)$ следующим образом

$$Dx = \frac{\partial x}{\partial \tau} + A(\tau, t) \frac{\partial x}{\partial t}, \quad (4)$$

где $A(\tau, t)$ – $n \times n$ -матрица, удовлетворяющая условиям периодичности вектор-периода (θ, ω) и непрерывной дифференцируемости порядка (1,1) по $(\tau, t) \in R \times R$

$$A(\tau + \theta, t + \omega) = A(\tau, t) \in C_{\tau, t}^{(1,1)}(R \times R), \quad (5)$$

где $R = (-\infty, +\infty)$; θ – период по τ , ω – период по t , периоды, как правило, несоизмеримые.

Предположим, что характеристический многочлен

$$H(\lambda, \tau, t) = \det[A(\tau, t) - \lambda E] = 0 \quad (6)$$

с единичной $n \times n$ -матрицей E имеет корни

$$\lambda = \lambda_j(\tau, t), \quad j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

которые а) либо не пересекаются

$$\lambda_j(\tau, t) \neq \lambda_i(\tau, t) \quad \text{при } j \neq i,$$

при любом $(\tau, t) \in R \times R$, б) либо тождественно равны

$$\lambda_j(\tau, t) = \lambda_i(\tau, t)$$

при любом $(\tau, t) \in R \times R$ и при некоторых значениях j, i из множества $\{1, 2, \dots, n\}$.

Это означает, что кратность n_j каждого j -го корня $\lambda_j(\tau, t)$ постоянная, то есть, не зависит от (τ, t)

при фиксированных значениях $j = \overline{1, n_0}$, $n_0 \leq n$.

Следовательно, имеем тождества

$$H(\lambda_j(\tau, t), \tau, t) \equiv \left(\frac{\partial}{\partial \lambda} H \right) (\lambda_j(\tau, t), \tau, t) \equiv \dots \equiv \left(\frac{\partial^{n_j-1}}{\partial \lambda^{n_j-1}} H \right) (\lambda_j(\tau, t), \tau, t) \equiv 0 \quad (8)$$

и неравенство

$$\left(\frac{\partial^{n_j}}{\partial \lambda_j^{n_j}} H \right) (\lambda_j(\tau, t), \tau, t) \neq 0. \quad (9)$$

Кроме того, предположим, что ранги r_j , $j = \overline{1, n_0}$ матриц

$$M_j(\tau, t) = A(\tau, t) - \lambda_j(\tau, t)E, \quad j = \overline{1, n_0} \quad (10)$$

при фиксированном j были постоянными:

$$r_j = \text{rang } M_j(\tau, t) = \text{const}(j), \quad j = \overline{1, n_0}. \quad (11)$$

Тогда, согласно [1, стр. 73-92], при этих условиях (8)-(11) матрицу $A(\tau, t)$ приводим к каноническому виду, то есть, существует неособенная гладкая матрица $K(\tau, t)$, такая что

$$K^{-1}(\tau, t)A(\tau, t)K(\tau, t) = J(\tau, t) = \text{diag}[J_1, \dots, J_l], \quad (12)$$

где $J_k(\tau, t)$ – жорданова клетка, соответствующая собственному значению $\lambda_{jk}(\tau, t)$.

Далее, следует определить вид оператора, полученного из (4) после замены

$$x = K(\tau, t)y, \quad (13)$$

в силу следующих очевидных соотношений

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \tau} (K(\tau, t)y) &= \frac{\partial}{\partial \tau} K(\tau, t) \cdot y + K(\tau, t) \cdot \frac{\partial y}{\partial \tau}, \\ A(\tau, t) \frac{\partial}{\partial \tau} (K(\tau, t)y) &= A(\tau, t) \frac{\partial}{\partial \tau} K(\tau, t) \cdot y + A(\tau, t)K(\tau, t) \cdot \frac{\partial y}{\partial \tau} \end{aligned}$$

имеем

$$D(K(\tau, t)y) = DK(\tau, t) \cdot y + K(\tau, t) \cdot \frac{\partial y}{\partial \tau} + A(\tau, t)K(\tau, t) \cdot \frac{\partial y}{\partial \tau}.$$

Отсюда слева умножив обе части равенства на $K^{-1}(\tau, t)$ имеем

$$\begin{aligned} K^{-1}(\tau, t)D(K(\tau, t)y) &= \\ &= K^{-1}(\tau, t) \cdot DK(\tau, t) \cdot y + \left[\frac{\partial y}{\partial \tau} + K^{-1}(\tau, t)A(\tau, t)K(\tau, t) \cdot \frac{\partial y}{\partial \tau} \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда в силу (13) из (14) получим

$$\frac{\partial y}{\partial \tau} + J(\tau, t) \frac{\partial y}{\partial \tau} = -K^{-1}(\tau, t) \cdot DK(\tau, t) \cdot y + K^{-1}(\tau, t) \cdot Dx.$$

Далее, обозначив

$$D^*y = \frac{\partial y}{\partial \tau} + J(\tau, t) \frac{\partial y}{\partial \tau}, \quad (15)$$

получим связь между оператором D и оператором D^* в виде

$$D^*y = -K^{-1}(\tau, t) \cdot DK(\tau, t)y + K^{-1}(\tau, t) \cdot Dx. \quad (16)$$

Если задается уравнение

$$Dx = f(\tau, t, x), \quad (17)$$

то, согласно (16), заменой (13) получим уравнение

$$D^*y = -K^{-1}(\tau, t) \cdot DK(\tau, t)y + K^{-1}(\tau, t)f(\tau, t, K(\tau, t)y) \equiv f^*(\tau, t, y) \quad (18)$$

с каноническим оператором (15).

Уравнение (18) в [1] называется каноническим для уравнения (17).

Уравнение связи (16) между исходным D и каноническим D^* операторами заимствовано из упомянутой работы [1] и здесь изложено в терминах операторов при дополнительном условии многопериодичности матрицы $A(\tau, t)$ по (τ, t) .

Также следует отметить, что собственные значения $\lambda_j(\tau, t)$, $j = \overline{1, n_0}$ определяются как неявные функции из характеристического многочлена. Следовательно, они обладают свойством гладкости того же порядка, что и матрица $A(\tau, t)$, то есть $\lambda_j(\tau, t) \in C_{\tau, t}^{(1,1)}(R \times R)$.

Из единственности неявной функции, как следствие, имеем (θ, ω) -периодичность собственных значений $\lambda_j(\tau, t) = \lambda_j(\tau + \theta, t + \omega)$, $j = \overline{1, n_0}$.

Таким образом, доказана следующая теорема.

Теорема 1. При условиях (5), (8)-(11) матрица $A(\tau, t)$ имеет собственные значения $\lambda_j(\tau, t)$, $j = \overline{1, n_0}$, обладающие свойствами

$$\lambda_j(\tau, t) = \lambda_j(\tau + \theta, t + \omega), \quad j = \overline{1, n_0} \quad (19)$$

и многопериодический гладкий оператор дифференцирования D вида (4) представляется через канонический многопериодический гладкий оператор D^* вида (15) по формуле (16).

В заключении, еще раз отметим, что вопросы существования и гладкости собственных значений $\lambda_j(\tau, t)$ и приведение D к D^* относится к результатам автора работы [1], а утверждения по части многопериодичности принадлежит данному исследованию.

Теперь предположим, что оператор D является гиперболическим в узком смысле.

Следовательно, $\lambda_j(\tau, t)$, $j = \overline{1, n}$ действительные и различные.

Тогда легко определить характеристики

$$\bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0) \equiv (h_{11}(\tau, \tau^0, t_{11}^0), \dots, h_{1n}(\tau, \tau^0, t_{1n}^0))$$

выходящие из точки $\bar{t}_1^0 = (t_{11}^0, \dots, t_{1n}^0) \in R \times \dots \times R = R^n$ при $\tau = \tau^0$, где $t_{1j} = h_{1j}(\tau, \tau^0, t_{1j}^0)$, $j = \overline{1, n}$ определены из характеристической системы

$$\frac{dt_{1j}}{d\tau} = \lambda_j(\tau, t_{1j}), \quad j = \overline{1, n}$$

с исходной точкой (τ^0, \bar{t}_1^0) . Заметим, что здесь $t_{11} = \dots = t_{1n} = t_1$.

Вдоль этих характеристик канонический оператор (15) обращается в полную производную

$$\begin{aligned} D^*y(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)) &= \left[\frac{\partial}{\partial \tau} + J(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)) \frac{\partial}{\partial t} \right] y(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)) = \\ &= \frac{d}{d\tau} w(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0), \end{aligned} \quad (20)$$

где $w(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0) = y(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0))$.

Результат сформулируем в виде следующей теоремы.

Теорема 2. При условиях теоремы 1 канонический оператор (15) оператора (4) со свойством (5) вдоль характеристик $\bar{t}_1 = \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)$ переходит в полную производную функции $w(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0) = y(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0))$, которая определяется соотношением (20).

Тогда нули оператора D , определяемые уравнением $Dx = 0$, на основе (16), связаны с линейным оператором

$$\frac{d}{d\tau} w(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0) = -K^{-1}(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)) DK(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0)) w(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0). \quad (21)$$

Определив решение уравнения (21), заменой $\bar{t}_1^0 = \bar{h}_1(\tau^0, \tau, \bar{t}_1)$ из его решения получим $y(\tau, \bar{t}_1) = w(\tau, \tau^0, \bar{h}_1(\tau^0, \tau, \bar{t}_1))$.

Далее, заменой (13) определим нули оператора D .

Таким образом, согласно соотношениям (13) и (16), нули оператора D находим из уравнений

$$x(\tau, t_1) = K(\tau, t_1) y(\tau, t_1),$$

$$K(\tau, t_1) D^* y(\tau, t_1) + DK(\tau, t_1) y(\tau, t_1) = 0, \quad (22)$$

где $y(\tau, \bar{t}_1) = w(\tau, \tau^0, \bar{h}_1(\tau^0, \tau, \bar{t}_1)) \Big|_{t_{1j} = \bar{t}_1}$ определяется соотношениями (20) и (21); $\bar{t}_1 = (t_{11}, \dots, t_{1n})$, $t_{11} = \dots = t_{1n} = t_1$.

Теорема 3. Нули оператора (4) при условиях теоремы 2 определяются соотношением (22).

Приведение матричного оператора дифференцирования с тремя независимыми переменными к оператору дифференцирования с двумя переменными

Рассмотрим оператор дифференцирования с тремя независимыми переменными в узкогиперболическом случае

$$Dx = \frac{\partial x}{\partial \tau} + A_1(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial x}{\partial t_1} + A_2(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial x}{\partial t_2} \quad (23)$$

с матрицами

$$A_k(\tau + \theta, t_1 + \omega_1, t_2 + \omega_2) = A_k(\tau, t_1, t_2) \in C_{\tau, t_1, t_2}^{(1,1,1)}(R \times R \times R); \quad (24)$$

$$K_k^{-1}(\tau, t_1, t_2) A_k(\tau, t_1, t_2) K_k(\tau, t_1, t_2) = J_k(\tau, t_1, t_2),$$

$$J_k(\tau, t_1, t_2) = \text{diag} [\lambda_{k1}(\tau, t_1, t_2), \dots, \lambda_{kn}(\tau, t_1, t_2)], \quad k = \overline{1, 2}. \quad (25)$$

Наша задача состоит в представлении оператора (23) через оператор D^* .

Составим характеристические системы

$$\begin{cases} \frac{dt_{1j}}{d\tau} = \lambda_{1j}(\tau, t_{1j}, t_{2j}), \\ \frac{dt_{2j}}{d\tau} = \lambda_{2j}(\tau, t_{1j}, t_{2j}), \end{cases} \quad j = \overline{1, n} \quad (26)$$

из которых определим характеристики

$$\begin{aligned} \bar{t}_1 &= \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0) \equiv (h_{11}(\tau, \tau^0, t_{11}^0, t_{21}^0), \dots, h_{1n}(\tau, \tau^0, t_{1n}^0, t_{2n}^0)) \\ \bar{t}_2 &= \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0) \equiv (h_{21}(\tau, \tau^0, t_{11}^0, t_{21}^0), \dots, h_{2n}(\tau, \tau^0, t_{1n}^0, t_{2n}^0)) \end{aligned} \quad (27)$$

причем в силу (26) имеем

$$\frac{d}{d\tau} \bar{h}_k(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0) = J_k(\tau, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0), \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)), \quad (28)$$

где $t_{k1} = \dots = t_{kn} = t_k$, $\bar{t}_k = (t_{k1}, \dots, t_{kn})$, $\bar{t}_k^0 = (t_{k1}^0, \dots, t_{kn}^0)$.

Очевидно, что согласно теореме существования и единственности для характеристической системы (26) характеристики (27) обладают групповым свойством

$$\bar{h}_k(\tau, \tau^0, \bar{h}_1(\tau, \tau^0, \bar{t}_1, \bar{t}_2), \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1, \bar{t}_2)) = \bar{h}_k(\tau, \tau^0, \bar{t}_1, \bar{t}_2) = \bar{t}_k. \quad (29)$$

Далее, на основе (25), наряду с оператором (23) рассмотрим оператор

$$\begin{aligned} & \frac{\partial y(\tau, t_1, t_2)}{\partial \tau} + J_2(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial y(\tau, t_1, t_2)}{\partial t_2} + K_2^{-1}(\tau, t_1, t_2) A_1(\tau, t_1, t_2) K_2(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial y(\tau, t_1, t_2)}{\partial t_1} + \\ & + K_2^{-1}(\tau, t_1, t_2) \left[A_1(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial}{\partial t_1} K_2(\tau, t_1, t_2) + A_2(\tau, t_1, t_2) \frac{\partial}{\partial t_2} K_2(\tau, t_1, t_2) \right] y(\tau, t_1, t_2), \end{aligned} \quad (30)$$

который вдоль характеристик по переменной t_2 вида

$$\bar{t}_2 = \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)$$

представляется через вектор-функцию

$$w(\tau, t_1, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0) = y(\tau, t_1, \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)) \quad (31)$$

в виде

$$\begin{aligned} & \frac{\partial w(\tau, t_1, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)}{\partial \tau} + \tilde{K}_2^{-1}(\tau, t_1, \bar{h}_2) \tilde{A}_1(\tau, t_1, \bar{h}_2) \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) \frac{\partial w(\tau, t_1, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)}{\partial t_1} + \\ & + \tilde{K}_2^{-1}(\tau, t_1, \bar{h}_2) \left[\tilde{A}_1(\tau, t_1, \bar{h}_2) \frac{\partial}{\partial t_1} \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) + \tilde{A}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) \frac{\partial}{\partial t_2} \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) \right] w(\tau, t_1, \bar{h}_2), \end{aligned} \quad (32)$$

где $\frac{\partial w}{\partial \tau}$ является полной частной производной сложной функции (31) по τ , $\tilde{A}_1(\tau, t_1, \bar{h}_2) = A_1(\tau, t_1, \langle \alpha, \bar{t}_2 \rangle)$,

$\tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) = \tilde{K}_2(\tau, t_1, \langle \alpha, \bar{t}_2 \rangle)$, с вектор-параметром $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, причем $0 < \alpha_j < 1$, $\sum_j^n \alpha_j = 1$,

$\bar{t}_2 = (t_{21}, \dots, t_{2n})$, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ – знак скалярного произведения.

Таким образом, соотношение (32) в более компактной форме записывается в виде

$$\frac{\partial w(\tau, t_1)}{\partial \tau} + A_1^*(\tau, t_1) \frac{\partial w(\tau, t_1)}{\partial t_1} + C^*(\tau, t_1) w(\tau, t_1) \equiv D^* w(\tau, t_1) + C^*(\tau, t_1) w(\tau, t_1), \quad (33)$$

где $A_1^*(\tau, t_1)$ и $C^*(\tau, t_1)$ имеют вид

$$A_1^*(\tau, t_1) = \tilde{K}_2^{-1}(\tau, t_1, \bar{h}_2) \tilde{A}_1(\tau, t_1, \bar{h}_2) \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2),$$

$$C^*(\tau, t_1) = \tilde{K}_2^{-1}(\tau, t_1, \bar{h}_2) \left[\tilde{A}_1(\tau, t_1, \bar{h}_2) \frac{\partial}{\partial t_1} \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) + \tilde{A}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) \frac{\partial}{\partial t_2} \tilde{K}_2(\tau, t_1, \bar{h}_2) \right]$$

с вектор-функцией $\bar{h}_2 = \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0)$.

Итак, имеет место теорема.

Теорема 4. При условиях теоремы 1 относительно матриц (24) и (25) узкогиперболический оператор дифференцирования (23) по переменным (τ, t_1, t_2) приводим к линейному оператору (33) с узкогиперболическим оператором D^* по переменным (τ, t_1) .

Узкогиперболическость оператора D^* следует из того, что матрица $A_1^*(\tau, t_1)$ имеет собственные значения $\tilde{\lambda}_1(\tau, t_1) = \lambda_1(\tau, t_1, \langle \alpha, \bar{h}_2(\tau, \tau^0, \bar{t}_1^0, \bar{t}_2^0) \rangle)$, где $\lambda_1(\tau, t_1, t_2)$ – собственные значения матрицы $A_1(\tau, t_1, t_2)$.

В заключении отметим, что данную теорему можно обобщить на случай произвольного числа переменных $(\tau, t) = (\tau, t_1, \dots, t_m)$ (m – любое натуральное число) по описанной выше методике.

Приведение матричного оператора дифференцирования с $m+1$ независимыми переменными к матричному оператору дифференцирования с m переменными

Рассмотрим оператор дифференцирования узкогиперболического типа с $m+1$ независимыми переменными

$$D_{(m)}x = \frac{\partial x}{\partial \tau} + \sum_{k=1}^m A_k(\tau, t) \frac{\partial x}{\partial t_k} \quad (34)$$

с коэффициентными матрицами $A_k(\tau, t)$, каждая из них удовлетворяет условиям теоремы 1, причем

$$A_k(\tau + \theta, t + \omega) = A_k(\tau, t) \in C_{\tau, t}^{(1, e)}(R \times R^m), \quad (35)$$

$$K_k^{-1}(\tau, t) A_k(\tau, t) K_k(\tau, t) = J_k(\tau, t),$$

$$J_k = \text{diag} [\lambda_{k1}(\tau, t), \dots, \lambda_{kn}(\tau, t)]. \quad (36)$$

Поставим задачу о приведении оператора (34) к линейному оператору

$$D_{(m-1)}y = \frac{\partial y}{\partial \tau} + \sum_{k=1}^{m-1} B_k(\tau, t) \frac{\partial y}{\partial t_k} + C(\tau, t)y \quad (37)$$

на основе линейного преобразования и замены независимых переменных, где $B_k(\tau, t)$, $k = \overline{1, m-1}$ и $C(\tau, t)$ – некоторые гладкие порядка $(0, e)$ по $(\tau, t) \in R \times R^m$ матрицы.

Теорема 5. Пусть выполнены условия (35) и (36). Тогда при условиях теоремы 1 относительно $A_k(\tau, t)$, $k = \overline{1, m}$, многопериодический матричный оператор (34) приводим к матричному оператору дифференцирования вида (37).

Доказательство теоремы 5 можно провести аналогично методу доказательства теоремы 4.

Заключение

В заключении отметим, что метод, предложенный в данном разделе по приведению многопериодического матричного оператора дифференцирования по $m+1$ переменным к каноническому оператору дифференцирования по m переменным имеет широкую перспективу в решении вопроса интегрирования уравнений с частными производными. Приведенная теорема 5 является началом одного из перспективных направлений развития исследования данной работы.

Список использованной литературы:

- 1 Петровский И.Г. Лекции об уравнениях с частными производными. М.-Л.: ГИТТЛ, 1961. -400с.
- 2 Курант Р. Уравнения с частными производными. М.: Мир, 1964. -830с.
- 3 Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике. М.: Наука, 1968. -592с.
- 4 Годунов С.К. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1979. -392с.
- 5 Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. М.: Мир, 1985. -384с.

6 Умбетжанов Д.У. Почти периодические решения эволюционных уравнений. Алма-Ата: Наука, 1979.- 179с.

7 Сартанов Ж.А. Метод редукции в исследовании проблемы приводимости линейных многопериодических систем с операторами дифференцирования по направлениям главной диагонали // IX международная научная конференция «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры», Актобе, 2022, 4-7.

8 Zhumagazyev A.Kh., Sartabanov Zh.A., Sultanaev Ya.T. On a new method for investigation of multiperiodic solutions of quasilinear strictly hyperbolic system // Azerbaijan Journal of Mathematics, 2022, №1(12), 32-48.

9 Sartabanov Zh.A., Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A. Multiperiodic solution of linear hyperbolic in the narrow sense system with constant coefficients // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series, 2020, №2(98), 125-140.

10 Sartabanov Zh.A., Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A. On one method of research of multiperiodic solution of block-matrix type system with various differentiation operators // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Al-Farabi Kazakh National University. Series physico-mathematical, 2020, №2(330), 149-158.

References:

1 Petrovskij I.G. (1961) Lekcii ob uravnenijah s chastnymi proizvodnymi [Lectures on partial differential equations]. M.-L.: GITTL, 400. (In Russian)

2 Kurant R. (1964) Uravnenija s chastnymi proizvodnymi [Partial differential equations]. M.: Mir, 830. (In Russian)

3 Rozhdestvenskij B.L., Janenko N.N. (1968) Sistemy kvazilinejnyh uravnenij i ih prilozhenie k gazovoj dinamike [Systems of quasi-linear equations and their application to gas dynamics]. M.: Nauka, 592. (In Russian)

4 Godunov S.K. (1979) Uravnenija matematicheskoj fiziki [Equations of mathematical physics]. M.: Nauka, 392. (In Russian)

5 Farlou S. (1985) Uravnenija s chastnymi proizvodnymi dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Partial Differential Equations for Scientists and Engineers]. M.: Mir, 384. (In Russian)

6 Umbetzhанov D.U. (1979) Pochti periodicheskie reshenija jevoljucionnyh uravnenij [Almost periodic solutions of evolution equations]. Alma-Ata: Nauka, 179. (In Russian)

7 Sartabanov Zh.A. (2022) Metod redukcii v issledovanii problemy privodimosti linejnyh mnogoperiodicheskikh sistem s operatorami differencirovanija po napravlenijam glavnoj diagonali [Reduction method in the study of the problem of reducibility of linear multiperiodic systems with differentiation operators in the directions of the main diagonal]. IX mezhduнародnaja nauchnaja konferencija «Problemy differencial'nyh uravnenij, analiza i algebrы», Aktobe, 4-7. (In Russian)

8 Zhumagazyev A.Kh., Sartabanov Zh.A., Sultanaev Ya.T. (2022) On a new method for investigation of multiperiodic solutions of quasilinear strictly hyperbolic system. Azerbaijan Journal of Mathematics, №1(12), 32-48.

9 Sartabanov Zh.A., Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A. (2020) Multiperiodic solution of linear hyperbolic in the narrow sense system with constant coefficients. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series, №2(98), 125-140.

10 Sartabanov Zh.A., Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A. (2020) On one method of research of multiperiodic solution of block-matrix type system with various differentiation operators. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Al-Farabi Kazakh National University. Series physico-mathematical, №2(330), 149-158.

Г.И. Утесова^{1*}, А.Б. Утесов¹

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

*ugi_a@mail.ru

ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІК ТЕҢДЕУІНІҢ ШЕШІМДЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК (ЕСЕПТЕУІШ) ДИАМЕТР ЗЕРТТЕУІ АЯСЫНДА ДИСКРЕТТЕУ

Аңдатпа

Көп жағдайда дербес туындылы дифференциалдық теңдеулердің шешімдері ақырсыз объектілер құрамына кіретін қатарлар немесе интегралдар түрінде бейнеленеді. Сондықтан дербес туындылы дифференциалдық теңдеулердің қатарлар немесе интегралдар түріндегі шешімдерін жуықтау (дискреттеу) мәселесі туындайды.

Бұл жұмыста бастапқы шарты функционалдық $W_2^{r,\alpha}$ класында жататын жылуөткізгіштік теңдеуінің шешімін (еселі қатар түріндегі) $W_2^{r,\alpha}$ класында анықталған сызықтық функционалдардың мәндері бойынша

құрылған есептеу агрегаттарымен дискреттеу есебі $L^{\infty,q}, 2 \leq q \leq \infty$ кеңістігі метрикасында «Компьютерлік (есептеуіш) диаметр» деген атауға ие зерттеу схемасы бойынша шешілген. Ашып айтқанда, біріншіден, шешімді дискретизациялаудағы ең кіші қателіктің дәл реті анықталып, осы анықталған дәл ретті жүзеге асыратын есептеу агрегаты ұсынылған; екіншіден, ұсынылған есептеу агрегатының шектік қателігі табылған; үшіншіден, алғашқы шарттың тригонометриялық Фурье коэффициенттері арқылы құрылған кез келген есептеу агрегатының шектік қателігі ұсынылған есептеу агрегатының шектік қателігінен реті бойынша жақсы болмайтынына көз жеткізілген.

Түйін сөздер: компьютерлік (есептеуіш) диаметр, жылуөткізгіштік теңдеуінің шешімдерін дискреттеу, сызықтық функционал, есептеу агрегатының шектік қателігі, функциялар класы, тригонометриялық Фурье коэффициенттері.

Аннотация

Г.И. Утесова¹, А.Б. Утесов¹

¹Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актөбе, Казахстан

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫЙ (ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ) ПОПЕРЕЧНИК

Во многих случаях решения дифференциальных уравнений с частными производными представляются рядами или интегралами, являющимися бесконечными объектами. Поэтому возникает проблема приближения (дискретизации) решений дифференциальных уравнений с частными производными, представляющихся рядами или интегралами.

В данной работе по схеме исследования под названием «Компьютерный (вычислительный) поперечник» в метрике пространства $L^{\infty,q}, 2 \leq q \leq \infty$ решена задача дискретизации решений (представляющихся кратными рядами) уравнения теплопроводности с начальным условием из функционального класса $W_2^{r,\alpha}$ вычислительными агрегатами, построенными по значениям линейных функционалов, определенных на классе $W_2^{r,\alpha}$. Именно, во-первых, установлен точный порядок дискретизации решения и предложен вычислительный агрегат, реализующий установленный точный порядок; во-вторых, найдена предельная погрешность предложенного вычислительного агрегата; в-третьих, доказано, что предельная погрешность любого вычислительного агрегата, построенного по тригонометрическим коэффициентам Фурье начального условия, не лучше по порядку, чем предельная погрешности предложенного вычислительного агрегата.

Ключевые слова: компьютерный (вычислительный) поперечник, дискретизация решений уравнения теплопроводности, линейный функционал, предельная погрешность вычислительного агрегата, класс функций, тригонометрические коэффициенты Фурье.

Abstract

DISCRETIZATION OF SOLUTIONS TO THE HEAT EQUATION IN THE CONTEXT OF THE STUDY COMPUTATIONAL (NUMERICAL) DIAMETER

Utessova G.I.¹, Utessov A.B.¹

¹Aktobe regional university named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

In many cases, solutions to partial differential equations are represented by series or integrals, which are infinite objects. Therefore, the problem of approximation (discretization) of solutions of differential equations with partial derivatives, represented by series or integrals, arises.

In this work, according to the research scheme called "Computational (numerical) diameter" in the metric of space $L^{\infty, q}, 2 \leq q \leq \infty$, we solve the problem of discretization of solutions (represented by multiple series) of the heat equation with an initial condition from the functional class $W_2^{r, \alpha}$ by computing units constructed from the values of linear functionals defined on the class $W_2^{r, \alpha}$. Namely, firstly, the exact order of discretization of the solution is established and a computing unit is proposed that implements the established exact order; secondly, the limiting error of the proposed computing unit was found; thirdly, it has been proved that the limiting error of any computing unit constructed from the trigonometric Fourier coefficients of the initial condition is no better in order than the limiting error of the proposed computing unit.

Keywords: computational (numerical) diameter, discretization of solutions of the heat equation, linear functional, limiting error of a computing unit, class of functions, trigonometric Fourier coefficients.

§1. $W_2^{r, \alpha}$ класы анықтамасы және Компьютерлік (есептеуіш) диаметр зерттеуі

Алдымен төменде пайдаланылатын белгілеулерді келтірейік. $u(t, x; f)$ символымен жылуөткізгіштік

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_s^2}, (s = 1, 2, \dots, 0 \leq t < +\infty, x \in R^s)$$

теңдеуінің $u(0, x_1, \dots, x_s) = f(x_1, \dots, x_s)$ шартын қанағаттандыратын шешімін таңбалаймыз.

$\hat{f}(m)$ символымен әрбір айнымалысы бойынша бірпериодты $f(x) = f(x_1, \dots, x_s)$ функциясының тригонометриялық Фурье коэффициентін белгілейміз, яғни, әрбір $m \in Z^s$ үшін

$$\hat{f}(m) = \int_{[0,1]^s} f(x) e^{-2\pi i(m, x)} dx, \text{ мұндағы } (m, x) - m = (m_1, \dots, m_s) \in Z^s$$

және

$x = (x_1, \dots, x_s) \in R^s$ векторларының скалярлық көбейтіндісі, яғни, $(m, x) = m_1 x_1 + \dots + m_s x_s$.

Төменде $[a]$ символымен әдеттегідей a санының бүтін бөлігі таңбаланады.

Енді $W_2^{r, \alpha}$ класы анықтамасын келтірейік (қараңыз, [1]).

Бүтін $s \geq 2$ саны, $r = (r_1, \dots, r_s), r_1 > 0, \dots, r_s > 0$ және $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_s), \alpha_1 \in R, \dots, \alpha_s \in R$ векторлары беріліп, әрбір $m = (m_1, \dots, m_s) \in Z^s$ үшін $\bar{m}_1 = \max\{1, |m_1|\}, \dots, \bar{m}_s = \max\{1, |m_s|\}$ болсын. Сонда тригонометриялық $\hat{f}(m)$ Фурье коэффициенттері

$$\sum_{m \in Z^s} |\hat{f}(m)|^2 (\bar{m}_1^{2r_1} \ln^{2\alpha_1}(\bar{m}_1 + 1) + \dots + \bar{m}_s^{2r_s} \ln^{2\alpha_s}(\bar{m}_s + 1)) \leq 1$$

теңсіздігін қанағаттандыратын s аргументті $f(x) = f(x_1, \dots, x_s)$ функцияларының жиыны дәреже – логарифмдік шкаладағы көпөлшемді Соболев класы деп аталып, $W_2^{r_1, \dots, r_s; \alpha_1, \dots, \alpha_s} [0,1]^s$ (қысқаша: $W_2^{r, \alpha}$) символымен белгіленеді.

$\alpha_1 = \dots = \alpha_s = 0$ жағдайында $W_2^{r_1, \dots, r_s; \alpha_1, \dots, \alpha_s} [0,1]^s$ класы анизотропты Соболев класы деген атауға ие $W_2^r \equiv W_2^{r_1, \dots, r_s} [0,1]^s$ класымен беттеседі (W_2^r класы анықтамасын [2] жұмысынан қараңыз).

Компьютерлік (есептеуіш) диаметр зерттеуі (қысқаша: К(Е)Д – зерттеуі) мына шама арқылы жүргізіледі (мысалы, қараңыз, [3]):

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N, T, F)_Y = \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N), T, F)_Y,$$

мұндағы $\delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N), T, F)_Y =$

$$\begin{aligned} &= \sup_{f \in F} \sup_{z_1, \dots, z_N} \left\{ \left\| (Tf)(\cdot) - \varphi_N(z_1, \dots, z_N; \cdot) \right\|_Y : \left| z_i - l_N^{(i)}(f) \right| \leq \varepsilon_N, i = 1, \dots, N \right\} \equiv \\ &\equiv \sup_{f \in F} \sup_{\left\{ \gamma_N^{(i)} \right\}_{i=1}^N} \left\{ \left\| (Tf)(\cdot) - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N; \cdot \right) \right\|_Y : \right. \\ &\quad \left. \left| \gamma_N^{(i)} \right| \leq 1, \dots, \left| \gamma_N^{(N)} \right| \leq 1 \right\}, \end{aligned}$$

ε_N – теріс емес мүшелі тізбек, F – $f: \Omega \rightarrow C$ функцияларының класы, Y – $g: \Omega_1 \rightarrow C$ функцияларының нормаланған кеңістігі, T – нормаланған X ($F \subset X$) кеңістігін нормаланған Y кеңістігіне бейнелейтін оператор, $l^{(N)} = l_N^{(1)}: F \rightarrow C, \dots, l_N^{(N)}: F \rightarrow C$ функционалдарына сәйкес комплексмәнді $(l_N^{(1)}(f), \dots, l_N^{(N)}(f))$ векторы, $\varphi_N = C^N \times \Omega_1$ жиынында анықталған және әрбір $(z_1, \dots, z_N) \in C^N$ үшін $\varphi_N(z_1, \dots, z_N; y) \in Y$ кірістіруін қанағаттандыратын комплекс мәнді функция, ал $D_N \subset \left\{ (l^{(N)}, \varphi_N) \right\}$.

Бұдан әрі әрбір $(l^{(N)}, \varphi_N)$ жұбына сәйкес, y айнымалысына тәуелді $\varphi_N(l_N^{(1)}(f), \dots, l_N^{(N)}(f); y)$ функциясы есептеу агрегаты деп аталады. Сондай – ақ, $A \ll_{\alpha, \beta, \dots} B$ жазуы тек \ll символы астындағы α, β, \dots параметрлеріне тәуелді қайсыбір $C(\alpha, \beta, \dots) > 0$ шамасы үшін $|A| \leq C(\alpha, \beta, \dots) B$ теңсіздігі орындалатынын білдіреді.

Егер $A \ll_{\alpha, \beta, \dots} B$ және $B \ll_{\alpha, \beta, \dots} A$ теңсіздіктері қатар орындалса, онда $A \asymp_{\alpha, \beta, \dots} B$ өрнегі жазылады.

К(Е)Д – зерттеуінде $T: F \rightarrow Y$ операторының, F класының, D_N жиынының, Y кеңістігінің әртүрлі жағдайларында бірінен соң бірі К(Е)Д - 1, К(Е)Д - 2 және К(Е)Д - 3 есептері шығарылады:

К(Е)Д - 1. $\delta_N(0; D_N, T, F)_Y$ шамасының дәл реті анықталады, яғни, қандай да бір $\{\psi_N\}_{N \geq 1}$ тізбегі үшін $\delta_N(0; D_N, T, F)_Y \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \psi_N$ болатыны дәлелденеді және қайсыбір

$(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N) \equiv \tilde{\varphi}_N(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f); y)$ есептеу агрегаты $\delta_N(0; \tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N, T, F)_Y \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \psi_N$ орындалатындай құрылады (бұл жағдайда $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ есептеу агрегаты ψ_N дәл ретін жүзеге асырады деп айтады);

К(Е)Д - 2. $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ есептеу агрегаты үшін $\tilde{\varepsilon}_N > 0$ тізбегі, $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ есептеу агрегатының шектік қателігі, $\delta_N(0; D_N, T, F)_Y \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \delta_N(\tilde{\varepsilon}_N; \tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N, T, F)_Y$

және

$\overline{\lim}_{N \rightarrow \infty} \delta_N(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; (\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N), T, F)_Y / \delta_N(0; D_N, T, F)_Y = +\infty$, мұндағы $\{\eta_N\}_{N \geq 1} \rightarrow (+\infty)$ – ке өсіп ұмтылатын оң мүшелі тізбек, шарттары орындалатындай анықталады;

К(Е)Д - 3. $\tilde{\varepsilon}_N$ шектік қателігінің массивтілігі анықталады: $(l^{(N)}, \varphi_N)$ есептеу агрегаттарының мүмкіндігінше кең жиыны $(+\infty)$ – ке өсіп ұмтылатын оң мүшелі әрбір $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$ тізбегі үшін $\overline{\lim}_{N \rightarrow \infty} \delta_N(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; (l^{(N)}, \varphi_N), T, F)_Y / \delta_N(0; D_N; T, F)_Y = +\infty$ теңдігі тура болатындай ізделеді.

$\delta_N(\varepsilon_N; D_N, T, F)_Y$ шамасындағы D_N жиынын, F класын, T операторын және Y кеңістігінің әртүрлі жағдайларында бірнеше К(Е)Д – зерттеуіне келеміз (мысалы, [4-7] жұмыстарын қараңыз).

Осы жерде [8 - 10] жұмыстарында К(Е)Д – зерттеуі $Tf(\cdot) = u(\cdot; f)$ жағдайында жылуөткізгіштік теңдеуі үшін толық жүргізілгенін, яғни, К(Е)Д-1, К(Е)Д - 2 және К(Е)Д - 3 есептері толықтай шешілгенін айта кетейік.

Бұл жұмыста L_N арқылы $l^{(N)}$ компоненті сызықтық

$$l_N^{(1)}: W_2^{r, \alpha} \rightarrow C, \dots, l_N^{(N)}: W_2^{r, \alpha} \rightarrow C$$

функционалдарынан тұратын барлық $(l^{(N)}, \varphi_N)$ жұптарының жиыны белгіленіп,

$$Tf(\cdot) = u(\cdot; f), F = W_2^{r, \alpha} [0, 1]^s, Y = L^{\infty, q}([0, 1]^s \times [0, +\infty)), D_N = L_N$$

жағдайларында К(Е)Д -1, К(Е)Д -2 және К(Е)Д -3 есептері шығарылған ($Y = L^{\infty, q}([0, +\infty) \times [0, 1]^s)$ кеңістігінің анықтамасын [9] жұмысынан қарауға болады).

§2. Негізгі нәтиже және оны дәлелдеу схемасы

Бұл жұмыстың негізгі нәтижесі мына

Теорема. $\lambda \equiv \lambda(r_1, \dots, r_s) = (1/r_1 + \dots + 1/r_s)^{-1} > \frac{1}{2}$ теңсіздігі орындалып, $2 \leq q \leq \infty$ және $\alpha_1 = \dots = \alpha_s = \alpha \geq 0$ болсын.

Сонда $N \equiv N(K) = \prod_{i=1}^s \left(2 \left[K^{\lambda/r_i} \right] + 1 \right)$, $K = 1, 2, \dots$ үшін келесі тұжырымдар ақиқат болады:

$$\mathbf{K(E)Д - 1.} \quad \delta_N \left(0; L_N, (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}} \underset{s, r, \alpha, q}{\asymp}$$

$$\underset{s, r, \alpha, q}{\asymp} \delta_N \left(0; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right), (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}} \underset{s, r, \alpha, q}{\asymp} \frac{N^{1/2-1/q}}{N^\lambda \ln^\alpha N},$$

мұндағы $\left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right) \equiv \left(\left(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) \right), \varphi_N \right)$ жұбы былай анықталған:

$$\tilde{\varphi}_N(z_1, \dots, z_N; t, x) = \sum_{\tau=1}^N z_\tau e^{-4\pi^2(\tilde{m}^{(\tau)}, \tilde{m}^{(\tau)})t} e^{2\pi i(\tilde{m}^{(\tau)}, x)},$$

$$\tilde{l}_N^{(1)}(f) = \hat{f}(\tilde{m}^{(1)}), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) = \hat{f}(\tilde{m}^{(N)}),$$

$$\left(\forall \tau = 1, \dots, N: \tilde{m}^{(\tau)} = \left(\tilde{m}_1^{(\tau)}, \dots, \tilde{m}_s^{(\tau)} \right) \in A_K \equiv \right.$$

$$\left. \equiv \left\{ m \in Z^s : |m_1| \leq \left[K^{\lambda/r_1} \right], \dots, |m_s| \leq \left[K^{\lambda/r_s} \right] \right\} \right)$$

K(E)Д - 2. $\tilde{\varepsilon}_N = \frac{1}{N^\lambda \sqrt{N} \ln^\alpha N}$ тізбегі K(E)Д -1 тұжырымындағы $\left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right)$ есептеу

агрегатының шектік қателігі болады, өйткені, біріншіден,

$$\delta_N \left(\tilde{\varepsilon}_N = \frac{1}{N^\lambda \sqrt{N} \ln^\alpha N}; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right), (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}} \underset{s, r, \alpha, q}{\asymp}$$

$$\underset{s, r, \alpha, q}{\asymp} \delta_N \left(0; L_N, (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}}$$

екіншіден,
$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right), (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}}}{\delta_N \left(0; L_N, (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}}} = +\infty;$$

К(Е)Д - 3. $\Phi_N = \left\{ \left(l^{(N)}, \varphi_N \right); l_N^{(1)}(f) = f\left(m^{(1)}\right), \dots, l_N^{(N)}(f) = f\left(m^{(N)}\right) \right\}$ жиынында жататын кез келген $(l^{(N)}, \varphi_N)$ есептеу агрегаты үшін

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right), (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}}}{\delta_N \left(0; L_N, (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q}}} = +\infty$$

теңдігі орындалады.

Бұл теоремадан мынадай қорытындылар жасауға болады:

1) Әрбір $N = 1, 2, \dots$ үшін $\Phi_N \subset L_N$ кірістіруі орындалатындықтан, келтірілген теоремадан [8] жұмысындағы теорема шығады;

2) Жалпы түрдегі $\left(l^{(N)}, \varphi_N \right) \in L_N$ есептеу агрегаты кез келген $f \in W_2^{r, \alpha}$ үшін $u(t, x; f)$

шешімін $L^{\infty, q}$ метрикасында $\psi(N) = \frac{C(s, r_1, \dots, r_s, \alpha, q) N^{1/2-1/q}}{N^\lambda \ln^\alpha N}$ дәлдігінен реті бойынша жақсы

дәлдікпен жуықтай алмайды;

3) $\tilde{\varphi}_N(\hat{f}(\tilde{m}^{(1)}), \dots, \hat{f}(\tilde{m}^{(N)}); t, x) = \sum_{\tau=1}^N \hat{f}(\tilde{m}^{(\tau)}) e^{-4\pi^2(\tilde{m}^{(\tau)}, \tilde{m}^{(\tau)})t} e^{2\pi i(\tilde{m}^{(\tau)}, x)}$ есептеу

агрегаты әрбір $f \in W_2^{r, \alpha}$ функциясына сәйкес $u(t, x; f)$ шешімін $L^{\infty, q}$ метрикасында $\psi(N)$ дәлдігімен оптималды жуықтайды;

4) $f \in W_2^{r, \alpha}$ жағдайында жоғарыдағы $\hat{f}(\tilde{m}^{(\tau)})$ Фурье коэффициенттерінің орнына

$\left| z_\tau - \hat{f}(\tilde{m}^{(\tau)}) \right| \leq \frac{1}{N^\lambda \sqrt{N} \ln^\alpha N}$ теңсіздігін қанағаттандыратын $z_\tau (\tau = 1, \dots, N)$ сандарын

алғаннан $u(t, x; f)$ шешімін $L^{\infty, q}$ метрикасында жуықтау дәлдігі өзгермейді;

5) Кез келген $\hat{f}(m^{(1)}), \dots, \hat{f}(m^{(N)})$ Фурье коэффициенттері мен кез келген

$$\varphi_N \equiv \varphi_N(z_1, \dots, z_N; t, x): C^N \times ([0, +\infty) \times [0, 1]^s) \rightarrow C$$

функциясы бойынша құрылған $\varphi_N(\hat{f}(m^{(1)}), \dots, \hat{f}(m^{(N)}); t, x)$ есептеу агрегатының $L^{\infty, q}$

метрикасындағы жуықтау дәлдігі де, шектік қателігі де $\tilde{\varphi}_N(\hat{f}(\tilde{m}^{(1)}), \dots, \hat{f}(\tilde{m}^{(N)}); t, x)$ есептеу агрегатының жуықтау дәлдігі мен шектік қателігінен реті бойынша жақсы болмайды.

Теорема дәлелдеуі кез келген $g \in C[0, 1]^s$ функциясы мен әрбір $q \in [2, \infty]$ үшін орынды болатын (қараңыз, [11, 256 бет])

$$\|g\|_q \leq \|g\|_2^{2/q} \|g\|_\infty^{1-2/q} \quad (1)$$

теңсіздігін және төмендегі бес лемманы қолдану арқылы жүзеге асады.

1 - лемма [9]. $\lambda > 1/2$ теңсіздігін қанағаттандыратын әрбір $r = (r_1, \dots, r_s)$, $r_1 > 0, \dots, r_s > 0$

векторы үшін еселі $\int_1^{+\infty} \dots \int_1^{+\infty} \frac{dx_1 \dots dx_s}{x_1^{2r_1} + \dots + x_s^{2r_s}}$ интегралы жинақталады.

2 - лемма. $\lambda > 1/2$ теңсіздігінің орындалуы $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_s = \alpha \geq 0$ жағдайында $f \in W_2^{r, \alpha}$ функциясының Фурье қатарының абсолютті және бірқалыпты жинақталуын қамтамасыз етеді.

3 - лемма [12]. $f(x) = f(x_1, \dots, x_s)$ бастапқы шарты абсолютті жинақталатын

$\sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m) e^{2\pi i(m, x)}$ Фурье қатары болатын жылуөткізгіштік теңдеуінің $u(t, x; f)$ шешімі

әрбір $(t, x) \in [0, +\infty) \times [0, 1]^s$ нүктесінде $\sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m) e^{-4\pi^2(m, m)t} e^{2\pi i(m, x)}$ қатарымен

беттеседі.

4 - лемма [13]. Егер $|G_N| \geq 2N$, $|G_N| \asymp N$ шарттарын қанағаттандыратын

$G_N \subset Z^s$ ($N, s = 1, 2, \dots$) жиыны берілген болса, онда тригонометриялық көпмүшеліктер жиынында

анықталған кез келген сызықтық l_1, \dots, l_N функционалдары үшін $l_1(\chi_N) = \dots = l_N(\chi_N) = 0$,

$\|\chi_N\|_{L^2} = \sqrt{N}$ теңдіктері мен $\|\chi_N\|_{L^\infty} \geq N$ теңсіздігі орындалатындай

$\chi_N(x) = \sum_{m \in G_N} c_m e^{2\pi i(m, x)}$ көпмүшелігі табылады.

5 - лемма [14, 22 - бет]. Бүтін оң N_1, \dots, N_s сандары және $t(x) = \sum_{m \in \Pi} c_m e^{2\pi i(m, x)}$,

$\Pi = \{m \in Z^s : |m_1| \leq N_1, \dots, |m_s| \leq N_s\}$ тригонометриялық полиномы берілген болсын. Сонда

$1 \leq q \leq p \leq \infty$ теңсіздіктері орындалғанда, $\|t\|_p \leq C(s) \|t\|_q \cdot (N_1 \dots N_s)^{1/q - 1/p}$ болады.

Енді теореманы дәлелдеу схемасына тоқталайық. Алғашқы үш леммаға және (1) теңсіздігіне сүйене отырып, мына теңсіздікті аламыз:

$$\delta_N \left(\tilde{\varepsilon}_N = \frac{1}{N^\lambda \sqrt{N} \ln^\alpha N}; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right), (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q} s, r, \alpha, q} \ll \frac{N^{1/2 - 1/q}}{N^\lambda \ln^\alpha N}. \quad (2)$$

4 - ші және 5 - ші леммаларды пайдаланып,

$$\delta_N \left(0; L_N, (Tf)(\cdot) = u(\cdot; f), W_2^{r, \alpha} \right)_{L^{\infty, q} s, r, \alpha, q} \gg \frac{N^{1/2 - 1/q}}{N^\lambda \ln^\alpha N} \quad (3)$$

теңсіздігіне келеміз. Әрине, кез келген $\varepsilon_N \geq 0$ тізбегі, F класы, Y кеңістігі, $T: F \rightarrow Y$ операторы,

D_N жиыны мен $(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N$ үшін

$$\delta_N(0; D_N, T, F)_Y \leq \delta_N(\varepsilon_N; D_N, T, F)_Y \leq \delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N), T, F)_Y,$$

теңсіздіктері тура болады. Сондықтан, (2) және (3) теңсіздіктерінен $K(E)D-1$, $K(E)D-2$ тұжырымдарындағы теңсіздіктер шығады. Ал $K(E)D-2$ және $K(E)D-3$ тұжырымдарындағы теңдіктердің ақиқаттылығына [9] жұмысындағы талдауларды $W_2^{r,\alpha}$ класы жағдайында қайталай отырып оңай көз жеткіземіз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Утесов А.Б. Оптимальное восстановление функций из анизотропных классов Соболева в степенно - логарифмической шкале. Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, серия Математика. Компьютерные науки. Механика, 2021, том 136, №3, стр. 37 - 41. DOI:<https://doi.org/10.32523/2616-7182>
- 2 Утесов А.Б., Абдыкулов А.Т. Полное $K(V)P$ – исследование задачи восстановления функций из анизотропных классов Соболева по неточным значениям их тригонометрических коэффициентов Фурье. Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, №1(122)/2018, стр. 90 - 98.
- 3 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Computational (Numerical) diameter in the context of general theory of a recovery, Russian Mathematics (Iz. VUZ), N1, 89 - 97(2019). <https://doi.org/10.26907/0021-3446-2019-1-89-97>
- 4 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Informative Cardinality of Trigonometric Fourier Coefficients and Their Limiting Error in the Discretization of a Differentiation Operator in Multidimensional Sobolev Classes, Computational Mathematics and Mathematical Physics, 55(9), 1432- 1443(2015). <https://doi.org/10.1134/S0965542515090146>
- 5 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Order Estimates of the Norms of derivatives of Functions with Zero Values of Linear Functionals and Their Applications, Russian Mathematics (Iz. VUZ), 61(3), 77 – 82. (2017). DOI: 10.3103/S1066369X17030100
- 6 Утесов А.Б. Об оптимальном восстановлении функций из класса Коробова в рамках $K(V)P$ – постановки. Вестник КазНПУ им. Абая. Серия «физ.– мат. науки», №2(70), 2020, стр. 115 – 121.
- 7 Темиргалиев Н., Таугынбаева Г.Е., Абикенова Ш.К. Дискретизация решений уравнений в частных производных в контексте Компьютерного (вычислительного) поперечника. Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, №1 (126) / 2019. С.8-51. DOI:<https://doi.org/10.32523/2616-7182/2019-126-1-8-51>
- 8 Утесов А.Б., Утесова Г.И. Бастапқы шарты $W_2^{r,\alpha}$ класына тиесілі жылжыткізгіштік теңдеуінің шешімін $K(E)D$ - зерттеуі аясында дискретизациялау туралы. Қ. Жұбанов атындағы АӨМУ хабаршысы, №1(2020), 50 -54 беттер.
- 9 Utesov A.B. and Bazarkhanova A.A. On Optimal Discretization of Solutions of the Heat Equation and the Limit Error of the Optimum Computing Unit. Differential Equations, 2021, Vol. 57, No.12, pp. 1726-1735. DOI 10.1134/S0012266121120168
- 10 Утесов А., Утесова Г. О дискретизации решений уравнения теплопроводности по числовой информации. Вестник КазНПУ им. Абая. Серия: физико-математические науки. Том 77 №1(2022). DOI:<https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.04>
- 11 Никольский С.М. Неравенства для целых функций конечной степени и их применение в теории дифференцируемых функций многих переменных. Труды МИАН СССР, 1951, т.38, с. 244 - 278.
- 12 Loo Keng Hua and Yang Wang, Application of Number Theory to Numerical Analysis, Berlin– Heidelberg – New York: Springer, 1981.
- 13 Azhgalliev Sh. On the discretization of solutions of the heat equation, Matemathical Notes, 82(2), 153– 158 (2007). <https://doi.org/10.4213/mzm3789>
- 14 Dinh Dung, Vladimir N. Temlyakov, Tino Ullrich. Hyperbolic Cross Approximation. arXiv: 1601.03978v1[math. NA]. 15 Jan 2016. pp. 1– 154.

References:

- 1 Utesov A.B. Optimal'noe vosstanovlenie funkciy iz anizotropnyh klassov Soboleva v stepenno – logarifmicheskoy shkale [Optimal recovery of functions from anisotropic Sobolev classes on a power- logarithmic scale]. Vestnik ENU im. L.N.Gumileva, seriya Matematika. Komp'yuternye nauki. Mekhanika, 2021, tom 136, №3, str. 37 - 41. (In Russian) DOI:<https://doi.org/10.32523/2616-7182>
- 2 Utesov A.B., Abdykulov A.T. Polnoe $K(V)P$ – issledovanie zadachi vosstanovleniya funkciy iz anizotropnyh klassov Soboleva po netochnym znachenijam ih trigonometricheskikh koeficientov Fur'e [The complete $C(N)D$ -solution of the problem recovery of functions from anisotropic Sobolev classes by their unexact trigonometric Fourier coefficients]. Vestnik ENU im. L.N.Gumileva, №1(122)/2018, str. 90 - 98. (In Russian)
- 3 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Computational (Numerical) diameter in the context of general theory of a recovery, Russian Mathematics (Iz. VUZ), N1, 89 - 97(2019). <https://doi.org/10.26907/0021-3446-2019-1-89-97>
- 4 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Informative Cardinality of Trigonometric Fourier Coefficients and Their Limiting Error in the Discretization of a Differentiation Operator in Multidimensional Sobolev Classes, Computational Mathematics and Mathematical Physics, 55(9), 1432- 1443(2015). <https://doi.org/10.1134/S0965542515090146>

5 Temirgaliev N., Zhubanisheva A.Zh. *Order Estimates of the Norms of Derivates of Functions with Zero Values of Linear Functionals and Their Applications*, *Russian Mathematics (Iz. VUZ)*, 61(3), 77 – 82 (2017). DOI: 10.3103/S1066369X17030100

6 Utesov A.B. *Ob optimal'nom vosstanovlenii funktsij iz klassa Korobova v ramkah $K(V)P$ – postanovki [On optimal recovery of functions from the Korobov class in the framework of $C(N)D$ - statement]*. *Vestnik KazNPU im. Abaya. Seriya «fiz.–mat. nauki»*, №2(70), 2020, str. 115 – 121. (In Russian)

7 Temirgaliev N., Taugynbaeva G.E., Abikenova Sh.K. *Diskretizaciya reshenij uravnenij v chastnyh proizvodnyh v kontekste Komp'yuternogo (vychislitel'nogo) poperechnika [Discretization of solutions of partial differential equations in the context of Computational(numerical)diameter]*. *Vestnik ENU im. L.N.Gumileva*, №1 (126) / 2019. S.8-51. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7182/2019-126-1-8-51>

8 Utesov A.B., Utesova G.I. *Bastapky sharty $W_2^{r,\alpha}$ klasyna tiesili zhylyotkizgishtik teñdeuiniñ sheshimin $K(E)D$ - zertteui ajasynda diskretizacijalau turaly [On discretization of the solution of the heat equation with an initial condition from the class $W_2^{r,\alpha}$ in the framework of $C(N)D$ - study]*. *Қ. Зһыбанов атындағы АӨМУ хабаршысы*, №1(2020), 50 -54 better. (In Kazakh)

9 Utesov A.B. and Bazarkhanova A.A. *On Optimal Discretization of Solutions of the Heat Equation and the Limit Error of the Optimum Computing Unit*. *Differential Equations*, 2021, Vol. 57, No.12, pp. 1726-1735. DOI 10.1134/S0012266121120168

10 Utesov A., Utesova G. *O diskretizacii reshenij uravneniya teploprovodnosti po chislovoj informacii [On discretization of solutions of the heat equation by numerical information]*. *Vestnik KazNPU im. Abaya. Seriya: fiziko-matematicheskie nauki. Tom 77 №1(2022)*. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.04>

11 Nikol'skij S.M. *Neravenstva dlja celyh funktsij konechnoj stepeni i ih primeneniye v teorii differenciruemyh funktsij mnogih peremennyh [Inequalities for entire functions of finite degree and their application in the theory of differentiable functions of many variables]*. *Trudy MIAN SSSR*, 1951, t.38, s. 244 - 278. (In Russian)

12 Loo Keng Hua and Yang Wang, *Application of Number Theory to Numerical Analysis*, Berlin– Heidelberg – New York: Springer, 1981.

13 Azhgalliev Sh. *On the discretization of solutions of the heat equation*, *Matematicheskii Zhurnal*, 82(2), 153– 158 (2007). <https://doi.org/10.4213/mzm3789>

14 Dinh Dung, Vladimir N. Temlyakov, Tino Ullrich. *Hyperbolic Cross Approximation*. arXiv: 1601.03978v1[math. NA]. 15 Jan 2016. pp. 1– 154.

А.Б. Утесов

Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан
adilzhan_71@mail.ru

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ИНТЕГРИРОВАНИИ ФУНКЦИЙ ПО ИХ НЕТОЧНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ

Аннотация

Одним из основных понятий разделов математики, именуемые «Численный анализ» и «Теория приближений», является понятие «поперечник». В зависимости от поставленных целей рассматриваются различные поперечники. В данной работе в контексте Компьютерного (вычислительного) поперечника, нацеленного на отыскание наилучших вычислительных агрегатов для реализации на компьютерах, изучена задача оптимального интегрирования функций из многомерного 1-периодического анизотропного класса Соболева. Именно, когда в качестве числовой информации выступают значения рассматриваемой функции в конечном числе точек, во - первых, установлен точный порядок погрешности оптимального интегрирования и выписан конкретный вычислительный агрегат, реализующий установленный точный порядок; во - вторых, найдена предельная погрешность конкретного оптимального вычислительного агрегата; в - третьих, доказано, что любой вычислительный агрегат, построенный по значениям функции в конечном числе точек, не имеет лучшую (по порядку) предельную погрешность, чем предельной погрешности выписанного конкретного вычислительного агрегата.

Ключевые слова: компьютерный (вычислительный) поперечник, числовая информация, значения функции, предельная погрешность вычислительного агрегата, точный порядок погрешности интегрирования, анизотропный класс Соболева.

Аңдатпа

Ә.Б. Өтесов

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

ФУНКЦИЯЛАРДЫ ОЛАРДЫҢ ДӘЛ ЕМЕС МӘНДЕРІ БОЙЫНША ИНТЕГРАЛДАУ ТУРАЛЫ

Математиканың «Сандық анализ» және «Жуықтаулар теориясы» атауларына ие бөлімдерінің негізгі ұғымдарының бірі – «диаметр» ұғымы. Қойылған мақсатқа байланысты әртүрлі диаметрлер қарастырылады. Бұл жұмыста компьютерлерде іске асыруға болатын ең жақсы есептеу агрегаттарын табуға бағытталған компьютерлік (есептеуіш) диаметрі аясында көпөлшемді 1- периодты анизотропты Соболев класында жататын функцияларды оптималды интегралдау есебі зерттелген. Дәл айтқанда, сандық мәлімет ретінде қарастырылып отырылған функцияның саны ақырлы нүктелердегі мәндері алынғанда, біріншіден, оптималды интегралдау нәтижесінде пайда болатын қателіктің дәл реті анықталған және сол дәл ретті жүзеге асыратын нақты есептеу агрегаты ұсынылған; екіншіден, нақты есептеу агрегатының шектік қателігі табылған; үшіншіден, функцияның саны ақырлы нүктелердегі мәндері бойынша құрылған әрбір есептеу агрегатының шектік қателігі ұсынылған нақты есептеу агрегатының шектік қателігінен жақсы болмайтыны (реті бойынша) дәлелденген.

Түйін сөздер: компьютерлік (есептеуіш) диаметр, сандық мәлімет, функция мәндері, есептеу агрегатының шектік қателігі, интегралдау қателігінің дәл реті, анизотропты Соболев класы.

Abstract

ON OPTIMAL INTEGRATION OF FUNCTIONS BY THEIR INEXACT VALUES

Utessov A.B.

Aktobe regional university named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

One of the main concepts of the sections of mathematics called «Numerical Analysis» and «Approximation Theory» is the concept of "diameter". Depending on the goals set, various diameters are considered. In this work, in the context of the Computational (numerical) diameter, aimed at finding the best computing units for implementation on computers, the problem of optimal integration of functions from the multidimensional 1-periodic anisotropic Sobolev class is studied. Namely, when the values of the function under consideration at a finite number of points act as numerical information, firstly, the exact order of the optimal integration error is established and a specific computing unit is written that implements the established exact order; secondly, the limit error of a specific optimal computing unit was found; thirdly, it has been proved that any computing unit constructed from the values of the function at a finite number of points does not have a better (in order) limit error than the limit error of the specific computing unit written out.

Keywords: computational (numerical) diameter, numerical information, the values of the function, the limit error of the computing unit, the exact order of the integration, anisotropic Sobolev class.

§1. Постановка задачи и формулировка теоремы

Следуя работам [1-3] сформулируем задачу оптимального интегрирования функций вычислительными агрегатами, построенными по неточной числовой информации о них в рамках постановки под названием «Компьютерный (вычислительный) поперечник» (коротко: К(В)П).

Пусть даны $N \in \mathbb{N}$, класс F функций, определенных на Ω , числовая информация $l^{(N)} \equiv l^{(N)}(f) = (l_N^{(1)}(f), \dots, l_N^{(N)}(f))$ объема N о функции $f \in F$, которая снимается с функционалов $l_N^{(1)} : F \mapsto C, \dots, l_N^{(N)} : F \mapsto C$ и функция $\varphi_N(z_1, \dots, z_N) : C^N \mapsto C$ – алгоритм переработки числовой информации $l^{(N)}$. Далее, символом $(l^{(N)}, \varphi_N)$ обозначается вычислительный агрегат интегрирования $\varphi_N(l_N^{(1)}(f), \dots, l_N^{(N)}(f))$, а символом D_N – множество всех вычислительных агрегатов $(l^{(N)}, \varphi_N)$.

При заданных F и D_N для последовательности $\varepsilon_N \geq 0$ положим

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N; F) \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N); F),$$

где $\delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N); F) \equiv$

$$\equiv \sup_{\substack{f \in F, \\ |\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau = 1, \dots, N)}} \left| \int_{\Omega} f(x) dx - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N \right) \right|.$$

Всюду ниже запись $A \ll_{\alpha, \beta, \dots} B$ будет означать существование некоторой положительной величины $C(\alpha, \beta, \dots)$, зависящей лишь от переменных указанных в скобке, такой, что $|A| \leq C(\alpha, \beta, \dots)B$. При одновременном выполнении соотношений $A \ll_{\alpha, \beta, \dots} B$ и $B \ll_{\alpha, \beta, \dots} A$ пишется $A \asymp_{\alpha, \beta, \dots} B$.

Проблема оптимального интегрирования функций вычислительными агрегатами, построенными по неточной числовой информации о них, в рамках К(В)П – постановки заключается в последовательном решении следующих трех задач:

К(В)П-1. Устанавливается точный порядок величины $\delta_N(0; D_N; F)$ (т.е. находится последовательность $\{\psi_N\}_{N \geq 1}$, удовлетворяющая соотношению $\delta_N(0; D_N; F) \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \psi_N$, здесь в

качестве α, β, \dots берутся параметры класса F) и указывается конкретный вычислительный агрегат $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N) \equiv \tilde{\varphi}_N(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f))$ такой, что $\delta_N(0; \tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N; F) \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \psi_N$ (в этом случае говорят, что вычислительный агрегат $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ реализует точный порядок ψ_N).

К(В)П-2. Для вычислительного агрегата $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ находится величина $\tilde{\varepsilon}_N > 0$, предельная погрешность вычислительного агрегата $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$, такая, что

$$\delta_N(0; D_N; F) \asymp_{\alpha, \beta, \dots} \delta_N(\tilde{\varepsilon}_N; (\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N); F) =$$

$$= \sup_{\substack{f \in F, \\ \left| \gamma_N^{(\tau)} \right| \leq 1 (\tau = 1, \dots, N)}} \left| \int_{\Omega} f(x) dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \tilde{\varepsilon}_N, \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \tilde{\varepsilon}_N \right) \right|$$

с одновременным выполнением для любой возрастающей к $+\infty$ положительной последовательности $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$ равенства

$$\overline{\lim}_{N \rightarrow \infty} \delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right); F \right) / \delta_N(0; D_N; F) = +\infty;$$

К(В)П-3. Устанавливается массивность предельной погрешности $\tilde{\varepsilon}_N$: находится как можно большое множество вычислительных агрегатов $(l^{(N)}, \varphi_N)$ таких, что для каждого из которых при любой возрастающей к $+\infty$ положительной последовательности $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$ имеет место равенство

$$\overline{\lim}_{N \rightarrow \infty} \delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right); F \right) / \delta_N(0; D_N; F) = +\infty.$$

Конкретизируя в $\delta_N(\varepsilon_N; D_N; F)$ множество D_N , класс F получаем различные задачи интегрирования в рамках К(В)П – постановки.

В данной работе задачи К(В)П - 1, - 2 и - 3 решены при интегрировании функций из анизотропного класса Соболева $W_2^r \equiv W_2^{r_1, \dots, r_s} (0,1)^s$ (определение класса W_2^r см., напр. в [4]) вычислительными агрегатами из

$$D_N = P_N \equiv \left\{ (l^{(N)}, \varphi_N) : l_N^{(\tau)}(f) = f \left(\xi_N^{(\tau)} \right), \tau = 1, \dots, N \right\},$$

где $\xi_N^{(1)} \in [0,1]^s, \dots, \xi_N^{(N)} \in [0,1]^s$.

Здесь же подчеркнем, что ранее при оптимальном интегрировании функций на классах изучалась только задача К(В)П-1 (см., напр. [5], [6], а также [7, Глава 8]).

Справедлива

Теорема. Пусть $s = 2, 3, \dots$ и $\lambda \equiv \lambda(r_1, \dots, r_s) = (1/r_1 + \dots + 1/r_s)^{-1} > 1/2$ для любого вектора $r = (r_1, \dots, r_s)$ с положительными компонентами. Тогда для каждого

$$N \equiv N(K) = \prod_{i=1}^s N_i, \text{ где } N_i = \left[K^{\lambda/r_i} \right], K \in \mathbf{N},$$

имеют место следующие утверждения:

К(В)П-1. $\delta_N(0; P_N; W_2^r) \asymp \frac{1}{N^\lambda}$, причем указанный порядок реализуется вычислительным

агрегатом $(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N)$ с функцией $\tilde{\varphi}_N(z_1, \dots, z_N) = (N_1 \dots N_s)^{-1} \prod_{\tau=1}^N z_\tau$ и функционалами

$$\tilde{l}_N^{(1)}(f) = f \left(\tilde{\xi}_N^{(1)} \right), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) = f \left(\tilde{\xi}_N^{(N)} \right),$$

где $\left\{ \xi_N^{(\tau)} \right\}_{\tau=1}^N = \left\{ \left(\frac{n_1}{N_1}, \dots, \frac{n_s}{N_s} \right) : n_1 \in \{1, \dots, N_1\}, \dots, n_s \in \{1, \dots, N_s\} \right\};$

К(В)П-2. Для вычислительного агрегата $\left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right)$ величина $\tilde{\varepsilon}_N = N^{-\lambda}$ является предельной погрешностью, т.е. $\delta_N \left(\tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right); W_2^r \right) \underset{s,r}{\sim} \delta_N \left(0; P_N; W_2^r \right)$ и для любой возрастающей к $+\infty$ положительной последовательности $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$ имеет место равенство

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right); W_2^r \right) / \delta_N \left(0; P_N; W_2^r \right) = +\infty;$$

К(В)П-3. Всякий вычислительный агрегат $\left(l^{(N)}, \varphi_N \right) = \varphi_N \left(f \left(\xi_N^{(1)} \right), \dots, f \left(\xi_N^{(N)} \right) \right),$

построенный по значениям функции f в N точках $\xi_N^{(1)}, \dots, \xi_N^{(N)}$, не может иметь предельную погрешность большую (по порядку) предельной погрешности $\tilde{\varepsilon}_N = N^{-\lambda}$.

Замечание 1. Сформулированная выше теорема анонсирована в [8].

Замечание 2. Оценка снизу в К(В)П-1 получена при целых $r_1 > 0, \dots, r_s > 0$.

§2. Доказательство теоремы

Для конечного множества E через $|E|$ обозначим количество его элементов. Как обычно, $[a]$ есть целая часть числа a . Всюду $m = (m_1, \dots, m_s) \in Z^s$.

Доказательство теоремы 1 начнем с получения требуемой оценки сверху для величин $\delta_N \left(\tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right); W_2^r \right)$. Поскольку условие $\lambda > 1/2$ обеспечивает равномерную сходимость тригонометрического ряда Фурье функции $f \in W_2^r$ (см. лемму из [4]), то

$$f \left(\frac{n_1}{N_1}, \dots, \frac{n_s}{N_s} \right) = \sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m) e^{2\pi i (m_1 (n_1 / N_1) + \dots + m_s (n_s / N_s))}.$$

Поэтому, в силу леммы 1 из [9, стр. 18 – 19]), получим

$$\frac{1}{N_1 \dots N_s} \sum_{n_1=1}^{N_1} \dots \sum_{n_s=1}^{N_s} f \left(\frac{n_1}{N_1}, \dots, \frac{n_s}{N_s} \right) = \sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m) \left(\frac{1}{N_1} \right)_{n_1=1}^{N_1} e^{2\pi i m_1 (n_1 / N_1)} \times \dots$$

$$\times \left(\frac{1}{N_s} \sum_{n_s=1}^{N_s} e^{2\pi i m_s (n_s / N_s)} \right) = \sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m_1 N_1, \dots, m_s N_s).$$

Следовательно, учитывая равенство $\hat{f}(0, \dots, 0) = \int_{[0,1]^s} f(x) dx$, имеем

$$\int_{[0,1]^s} f(x)dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) \right) = - \sum_{m \in Z^s} \hat{f}(m_1 N_1, \dots, m_s N_s),$$

откуда

$$\left| \int_{[0,1]^s} f(x)dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) \right) \right| \leq \sum_{m \in Z^s \setminus \{0\}} \left| \hat{f}(m_1 N_1, \dots, m_s N_s) \right|. \quad (1)$$

В силу неравенства Гельдера, определения класса и чисел N_1, \dots, N_s , с учетом сходимости кратного ряда $\sum_{m \in Z^s} \left(\bar{m}_1^{2r_1} + \dots + \bar{m}_s^{2r_s} \right)^{-1}$ при $\lambda > 1/2$, получим

$$\sum_{m \in Z^s \setminus \{0\}} \left| \hat{f}(m_1 N_1, \dots, m_s N_s) \right|_{s,r} \ll \frac{1}{N^\lambda}.$$

Стало быть, согласно (1), справедливо

$$\sup_{f \in W_2^r} \left| \int_{[0,1]^s} f(x)dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) \right) \right|_{s,r} \ll \frac{1}{N^\lambda}. \quad (2)$$

Так как для любой функции $f \in W_2^r$ имеет место неравенство

$$\begin{aligned} & \left| \int_{[0,1]^s} f(x)dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \tilde{\varepsilon}_N, \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \tilde{\varepsilon}_N \right) \right| \leq \\ & \leq \left| \int_{[0,1]^s} f(x)dx - \tilde{\varphi}_N \left(\tilde{l}_N^{(1)}(f), \dots, \tilde{l}_N^{(N)}(f) \right) \right| + \frac{\tilde{\varepsilon}_N}{N_1 \times \dots \times N_s} \sum_{\tau=1}^N \left| \gamma_N^{(\tau)} \right|, \end{aligned}$$

то, отсюда, с учетом (2), получим

$$\delta_N \left(\tilde{\varepsilon}_N; \left(\tilde{l}_N^{(N)}, \tilde{\varphi}_N \right); W_2^r \right)_{s,r} \ll \frac{1}{N^\lambda}. \quad (3)$$

Теперь при целых положительных значениях r_1, \dots, r_s оценим снизу величину $\delta_N \left(0; P_N; W_2^r \right)$ по методу, использованному при получении оценки снизу для погрешности оптимального интегрирования функций на классе $C_{r_1, \dots, r_s}(A)$ (см., напр. [10, стр. 230 – 233]).

Пусть для каждого $N \in \mathbb{N}$ произвольно заданы функция $\varphi_N : C^N \rightarrow C$ и функционалы $l_N^{(1)}(f) = f \left(\xi_N^{(1)} \right), \dots, l_N^{(N)}(f) = f \left(\xi_N^{(N)} \right)$.

Положим $M_i = 2 \cdot \left(\left[N^{\lambda/r_i} \right] + 1 \right), i \in \{1, \dots, s\}$. Далее, разобьем куб $[0,1]^s$ на равных

параллелепипедов $\Pi_{m_1, \dots, m_s} = \prod_{i=1}^s \left[\frac{m_i - 1}{M_i}, \frac{m_i}{M_i} \right], m_i \in \{1, \dots, M_i\}$ и определим функции

$$\psi_{m_1, \dots, m_s}(x) = \frac{1}{N^\lambda} \prod_{i=1}^s \psi(M_i x_i - m_i + 1), x \in \Pi_{m_1, \dots, m_s},$$

где ψ – неотрицательная бесконечно дифференцируемая функция на $[0,1]$ такая, что

$$\max_{x \in [0,1]} \psi(x) = 1, \psi(0) = \psi(1) = 0.$$

Рассмотрим функцию $f_N : [0,1]^s \rightarrow R$, определенную следующим образом: если $x \in [0,1]^s$ принадлежит параллелепипеду, содержащему хотя бы одну точку $\xi_N^{(1)}, \dots, \xi_N^{(N)}$, то положим $f_N(x) = 0$; если же точка $x \in [0,1]^s$ принадлежит параллелепипеду Π_{m_1, \dots, m_s} , свободному от точек $\xi_N^{(1)}, \dots, \xi_N^{(N)}$, то положим $f_N(x) = \psi_{m_1, \dots, m_s}(x)$.

Пусть f_N^* есть 1 – периодическое продолжение функции $f_N : [0,1]^s \rightarrow R$. Так как в любой точке $x \in [0,1]^s$ все производные $\frac{\partial^r f_N}{\partial x_i^r}(x), i = 1, \dots, s$ по модулю не превосходят некоторое число

$C(s, r_1, \dots, r_s) > 0$, то имеет место включение $f_N^* \in W_2^r$. Для любого Π_{m_1, \dots, m_s} имеем

$$\int_{\Pi_{m_1, \dots, m_s}} \psi_{m_1, \dots, m_s}(x) dx = \frac{1}{N^\lambda} \prod_{i=1}^s \int_{(m_i-1)/M_i}^{m_i/M_i} \psi(M_i x_i - m_i + 1) dx_i =$$

/ произведем замену переменных: $u_i = M_i x_i - m_i + 1$ /

$$= \frac{(M_1 \times \dots \times M_s)^{-1}}{N^\lambda} \left(\int_0^1 \psi(x) dx \right)^s = C(s) \frac{(M_1 \times \dots \times M_s)^{-1}}{N^\lambda}.$$

Следовательно,

$$\int_{[0,1]^s} f_N(x) dx \gg_s \frac{1}{N^\lambda}, \tag{4}$$

поскольку количество параллелепипедов Π_{m_1, \dots, m_s} , не содержащих ни одной точки $\xi_N^{(1)}, \dots, \xi_N^{(N)}$

не меньше, чем $M_1 \times \dots \times M_s - N$ и $M_1 \times \dots \times M_s - N \geq (2^s - 1)N$.

Тогда, с учетом равенств $f_N^*\left(\xi_N^{(1)}\right) = 0, \dots, f_N^*\left(\xi_N^{(N)}\right) = 0$ и включение $f_N^* \in W_2^r$,

имеем

$$\sup_f \left\{ \left| \int_{[0,1]^S} f(x) - \varphi_N \left(f \left(\xi_N^{(1)} \right), \dots, f \left(\xi_N^{(N)} \right) \right) \right| : f \in W_2^r \right\} \geq$$

$$\geq \max \left\{ \left| \int_{[0,1]^S} f_N^*(x) dx - \varphi_N(0, \dots, 0) \right|, \left| \int_{[0,1]^S} (-f_N^*)(x) dx - \varphi_N(0, \dots, 0) \right| \right\} \geq \int_{[0,1]^S} f_N(x) dx.$$

Отсюда, в силу (4), получим

$$\delta_N \left(0; P_N; W_2^r \right) \gg \frac{1}{s, r N^\lambda}. \quad (5)$$

Так как для всех $\varepsilon_N \geq 0$, F, D_N и $(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N$ имеют место неравенства

$$\delta_N(0; D_N; F) \leq \delta_N \left(0; (l^{(N)}, \varphi_N); F \right) \leq \delta_N \left(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N); F \right),$$

то из (3) и (5) вытекают доказательства К(В)П-1 и первой части К(В)П-2.

Теперь убедимся в том, что для всех $(l^{(N)}, \varphi_N) \in P_N$ при любой возрастающей к $+\infty$ последовательности $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$ имеет место равенство

$$\overline{\lim}_{N \rightarrow \infty} \delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; (l^{(N)}, \varphi_N); W_2^r \right) / \delta_N \left(0; P_N; W_2^r \right) = +\infty. \quad (6)$$

Заметим, что установив справедливость равенства (6) мы одновременно докажем К(В)П-3 и вторую часть К(В)П-2, и тем самым завершаем доказательство теоремы.

Пусть дана возрастающая к $+\infty$ положительная последовательность $\{\eta_N\}_{N \geq 1}$.

Положим $\beta_N = \min\{\eta_N, \ln N\}$ и для каждого $N = 2, 3, \dots$ определим функцию $t_N(x) = \tilde{\varepsilon}_N \beta_N$.

Поскольку $\hat{t}_N(m) = 0$ для всех $m \neq 0$ и $\hat{t}_N(0) = \int_0^1 \tilde{\varepsilon}_N \beta_N dx \leq \tilde{\varepsilon}_N \beta_N \leq \frac{\ln N}{N^\lambda} \leq 1$,

то функция $t_N^*(x) = \frac{1}{s} \tilde{\varepsilon}_N \beta_N$ принадлежит классу W_2^r .

Так как для чисел $\bar{\gamma}_N^{(i)} = -\frac{l_N^{(i)}(t_N^*)}{\tilde{\varepsilon}_N \eta_N}$ и $\bar{\bar{\gamma}}_N^{(i)} = -\frac{l_N^{(i)}(-t_N^*)}{\tilde{\varepsilon}_N \eta_N}$, $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ выполнены неравенства

$$\left| \bar{\gamma}_N^{(1)} \right| \leq 1, \dots, \left| \bar{\gamma}_N^{(N)} \right| \leq 1, \left| \bar{\bar{\gamma}}_N^{(1)} \right| \leq 1, \dots, \left| \bar{\bar{\gamma}}_N^{(N)} \right| \leq 1$$

и равенства

$$l_N^{(i)}(t_N^*) + \bar{\gamma}_N^{(i)} \tilde{\varepsilon}_N \eta_N = 0, \quad l_N^{(i)}(-t_N^*) + \bar{\bar{\gamma}}_N^{(i)} \tilde{\varepsilon}_N \eta_N = 0,$$

то

$$\begin{aligned} & \sup_{\substack{f \in F, \\ |\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau = 1, \dots, N)}} \left| \int_{[0,1]^s} f(x) dx - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N \right) \right| \geq \\ & \geq \max \left\{ \left| \int_{[0,1]^s} t_N^*(x) dx - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(t_N^*) + \bar{\gamma}_N^{(1)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N, \dots, l_N^{(N)}(t_N^*) + \bar{\gamma}_N^{(N)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N \right) \right|, \right. \\ & \left. \left| \int_{[0,1]^s} (-t_N^*(x)) dx - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(-t_N^*) + \bar{\gamma}_N^{(1)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N, \dots, l_N^{(N)}(-t_N^*) + \bar{\gamma}_N^{(N)} \eta_N \tilde{\varepsilon}_N \right) \right| \right\} = \\ & = \max \left\{ \left| \int_{[0,1]^s} t_N^*(x) dx - \varphi_N(0, \dots, 0) \right|, \left| \int_{[0,1]^s} (-t_N^*(x)) dx - \varphi_N(0, \dots, 0) \right| \right\} \gg_s \tilde{\varepsilon}_N \beta_N, \end{aligned}$$

откуда, учитывая соотношение $\tilde{\varepsilon}_N = \frac{1}{N^\lambda} \gamma_{s,r} \delta_N(0; P_N; W_2^r)$, имеем

$$\delta_N \left(\eta_N \tilde{\varepsilon}_N; \left(l_N^{(N)}, \varphi_N \right); W_2^r \right) \gg_s \delta_N(0; P_N; W_2^r) \beta_N.$$

Из этого неравенства следует (6), поскольку $\lim_{N \rightarrow \infty} \beta_N = +\infty$. Теорема доказана.

Список использованной литературы:

- 1 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Computational (Numerical) diameter in the context of general theory of a recovery, Russian Mathematics (Iz. VUZ),NI, 89 - 97(2019). <https://doi.org/10.26907/0021-3446-2019-1-89-97>
- 2 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Order Estimates of the Norms of derivatives of Functions with Zero Values of Linear Functionals and Their Applications, Russian Mathematics (Iz. VUZ), 61(3), 77 – 82 (2017). DOI: 10.3103/S1066369X17030100
- 3 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Informative Cardinality of Trigonometric Fourier Coefficients and Their Limiting Error in the Discretization of a Differentiation Operator in Multidimensional Sobolev Classes, Computational Mathematics and Mathematical Physics, 55(9), 1432- 1443(2015). <https://doi.org/10.1134/S0965542515090146>
- 4 Утесов А.Б., Абдыкулов А.Т. Полное $K(B)\Pi$ – исследование задачи восстановления функций из анизотропных классов Соболева по неточным значениям их тригонометрических коэффициентов Фурье. Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, №1(122)/2018, стр. 90 - 98.
- 5 Nurmoldin E.E. Restoration of functions, integrals, and solutions to the heat conductivity equation from the Ul'yanov U_2 – classes, Sib. Zh. Vychisl. Mat.,8(4), 337- 351(2005).
- 6 Temirgaliev N., S.S. Kudaibergenov, and A.A.Shomanova. An application of tensor product of functionals in problems of numerical integration. Izvestiya: Mathematics, 73(2) , 393- 434(2009). DOI 10.1070/IM2009v073n02ABEH002451.
- 7 Dinh Dung, Vladimir N. Temlyakov, Tino Ullrich. Hyperbolic Cross Approximation. arXiv: 1601.03978v1[math.NA]. 15 Jan 2016. p. 1- 154.
- 8 Утесов А.Б. Об оптимальном интегрировании функций из анизотропных классов Соболева в рамках $K(B)\Pi$ – постановки. Сборник трудов XII Межд. конф. «Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий», Воронеж, 25-28 сентября, 2019 г., стр. 378 - 380.
- 9 Коробов Н.М. Теоретико - числовые методы в приближенном анализе. М., 1963.
- 10 Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М., 1987.

References:

- 1 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Computational (Numerical) diameter in the context of general theory of a recovery, *Russian Mathematics (Iz. VUZ)*, N1, 89 - 97(2019). <https://doi.org/10.26907/0021-3446-2019-1-89-97>
- 2 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Order Estimates of the Norms of derivatives of Functions with Zero Values of Linear Functionals and Their Applications, *Russian Mathematics (Iz. VUZ)*, 61(3), 77 – 82 (2017). DOI: 10.3103/S1066369X17030100
- 3 Temirgaliev N., Zhubanisheva A. Zh. Informative Cardinality of Trigonometric Fourier Coefficients and Their Limiting Error in the Discretization of a Differentiation Operator in Multidimensional Sobolev Classes, *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 55(9), 1432- 1443(2015). <https://doi.org/10.1134/S0965542515090146>
- 4 Utesov A.B., Abdykulov A.T. Polnoe $K(V)P$ – issledovanie zadachi vosstanovleniya funktsiy iz anizotropnykh klassov Soboleva po netochnym znachenijam ih trigonometricheskikh koefitsientov Fur'e [The complete $C(N)D$ -solution of the problem recovery of functions from anisotropic Sobolev classes by their unexact trigonometric Fourier coefficients]. *Vestnik ENU im. L.N.Gumileva*, №1(122)/2018, str. 90 - 98. (In Russian)
- 5 Nurmoldin E.E. Restoration of functions, integrals, and solutions to the heat conductivity equation from the Ul'yanov U_2 – classes, *Sib. Zh. Vychisl. Mat.*, 8(4), 337- 351(2005).
- 6 Temirgaliev N., S.S. Kudaibergenov, and A.A.Shomanova. An application of tensor product of functionals in problems of numerical integration. *Izvestiya: Mathematics*, 73(2), 393- 434(2009). DOI 10.1070/IM2009v073n02ABEH002451.
- 7 Dinh Dung, Vladimir N. Temlyakov, Tino Ullrich. Hyperbolic Cross Approximation. *arXiv: 1601.03978v1[math.NA]*. 15 Jan 2016. p. 1- 154.
- 8 Utesov A.B. Ob optimal'nom integrirovanii funktsiy iz anizotropnykh klassov Soboleva v ramkah $K(V)P$ – postanovki [On the integration of functions from anisotropic Sobolev classes in the framework of the $C(N)D$ - statement]. *Sbornik trudov XII Mezhd. konf. «Sovremennye metody prikladnoj matematiki, teorii upravleniya i komp'yuternykh tekhnologij»*, Voronezh, 25-28 sentyabrya, 2019 g., str. 378 - 380. (In Russian)
- 9 Korobov N.M. Teoretiko - chislavye metody v priblizhennom analize [Numerical - theoretic methods in approximate analysis]. M., 1963. (In Russian)
- 10 Bahvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobel'kov G.M. *Chislennyye metody [Numerical methods]*. M., 1987. (In Russian)

ЕСЕПТЕУ МАТЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

МРНТИ 28.17.31
УДК 001.891.57:519.711

<https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.05>

**ECONOMETRIC DYNAMIC INVESTMENT MODEL ON THE EXAMPLE OF THE DATA OF THE
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

Babich V.V.

Almaty Branch of the St. Petersburg Humanitarian University of Trade Unions, Almaty, Kazakhstan

Abstract

The article provides the analysis of one of the most significant macroeconomic categories that affect the country's economic growth - gross investment. The author, on the basis of statistical information for the period of 1993-2020, determines the dependence of current investments on investments of the previous period and the growth rate of real gross domestic product. The sensitivity coefficients of changes in investments from accumulated investments of the previous period and the dynamics of national income are determined. An analysis is made of the necessary adequacy level of autonomous and induced investments which maintain an increase of the rate of economic growth. An autoregressive dynamic model is considered. A regression equation is constructed that gives estimates of the nonlinear investment function. For the composition, the author uses the method of partial correction, which eliminates such a problem as the bias of the estimates obtained.

Keywords: economic model, macroeconomics, economic growth, investment, autoregressive dynamic model, multicollinearity, analysis of variance, hypothesis testing.

Аңдатпа

В.В. Бабич

Санкт-Петербург кәсіподақтар гуманитарлық университетінің Алматы филиалы, Алматы қ., Қазақстан

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ДЕРЕКТЕРІНІҢ ӨРНЕГІНЕ ЭКОНОМЕТРИКАЛЫҚ
ДИНАМИКАЛЫҚ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬ**

Мақалада елдің экономикалық өсуіне әсер ететін маңызды макроэкономикалық категориялардың бірі – жалпы инвестицияның талдауы қарастырылған. Автор 1993-2020 жылдар аралығындағы статистикалық ақпарат негізінде ағымдағы инвестициялардың өткен кезеңдегі инвестицияларға тәуелділігін және нақты жалпы ішкі өнімнің өсу қарқынын анықтайды. Өткен кезеңдегі жинақталған инвестициялардан инвестициялардың өзгеруінің сезімталдық коэффициенттері және ұлттық табыс динамикасы анықталады. Экономикалық өсу қарқынын арттыру үшін автономды және индукциялық инвестициялар деңгейінің жеткіліктілігіне талдау жасалады. Авторегрессивті динамикалық модель қарастырылады. Сызықтық емес инвестициялық функцияның бағасын беретін регрессия теңдеуі құрылды. Құрылыс үшін автор ішінара түзету әдісін қолданады, ол алынған бағалардың бұрмалануы сияқты мәселені жояды.

Түйін сөздер: экономикалық модель, макроэкономика, экономикалық өсу, инвестиция, авторегрессивті динамикалық модель, мультиколлинеарлық, дисперсиялық талдау, гипотезаны тексеру.

Аннотация

В.В. Бабич

Алматинский Филиал Санкт-Петербургского Гуманитарного Университета Профсоюзов, Алматы, Казахстан

**ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНВЕСТИЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

В статье рассматривается анализ одной из самых существенных макроэкономических категорий, оказывающих воздействие на экономический рост страны – валовых инвестиций. Автор на основании

статистической информации за период 1993-2020 годов определяет зависимость текущих инвестиций от инвестиций прошлого периода и темпов роста реального валового внутреннего продукта. Определяются коэффициенты чувствительности изменения инвестиций от накопленных инвестиций предыдущего периода и динамики национального дохода. Проводится анализ достаточности уровня автономных и индуцированных инвестиций для повышения темпов экономического роста. Рассматривается авторегрессионная динамическая модель. Строится регрессионное уравнение, дающее оценки нелинейной функции инвестиций. Для построения автор применяется метод частичной корректировки, который позволяет устранить такую проблему как смещённость полученных оценок.

Ключевые слова: экономическая модель, макроэкономика, экономический рост, инвестиции, авторегрессионная динамическая модель, мультиколлинеарность, дисперсионный анализ, проверка гипотез.

Introduction

Investments are one of the key factors that provide a change in the rate of economic growth in the country. It can be autonomous and induced. Autonomous investment is an integral part of any economic model. They are built into this model through the constant renovation of the capital used due to continuous technological changes. However, if the economy is exposed to external shocks caused by various unforeseen cataclysms, a pandemic or political events which might lead to a change in key macroeconomic indicators, autonomous investments become insufficient to offset the decline in economic growth. In this case, induced investments are needed.

Induced investments are designed to increase the rate of economic growth. As a rule, they are carried out in accordance with the adopted strategic goals for the development of the country's economy. Investment analysts believe that investment is the most volatile component of the basic macroeconomic identity [1]. It should be noted that we consider investments in the real sector of the economy, investments in securities, which are an alternative to savings, are not considered.

It is known that the investments of the current period are proportional to the change in the volume of output, measured through the dynamics of the gross domestic product and the amount of investments in the previous period. According to the accelerator principle, the optimal stock of investment capital is proportional to the volume of expected output. Any expected increase in real gross output in the current period requires an increase in investment in the previous period. However, the limiting factor in the amount of investment in the short run is the manifestation of the principle of marginal diminishing returns, which reduces the marginal productivity of capital and can make investments inefficient.

Thus, the theory of investment is dynamic in nature, since it links the present with the future, therefore stimulating investment in the current moment will increase the gross domestic product in the future [2]. Models that directly take into account the time factor are usually called dynamic. In such models, all variables of economic processes and systems are functions of time [3].

Hypothesis and model

As described above, investments in the current period depend on the index of real gross domestic product (GDP) and the level of investments of previous periods.

Null hypothesis: there is no dependence of investments of the current period on investments of the previous period and the GDP index. To test the hypothesis and analyze the relationship between the studied economic categories, we will use an empirical model. It should be noted that the specification of the empirical model includes many options and decisions regarding the length of the sample, the transformation of variables, the order of their dynamics, and others [4].

The hypothesis will be tested on the basis of data on the main socio-economic indicators of Kazakhstan for the period of 1993-2020 on a quarterly basis. Since we are using time series, it is necessary to check these series for stationarity. Consider the timeline of investments shown in Figure 1. An analysis of the graph shows that the series is non-stationary in the following points: in each period of time, the average value changes and the amplitude of fluctuations in the values of investments by periods is different.

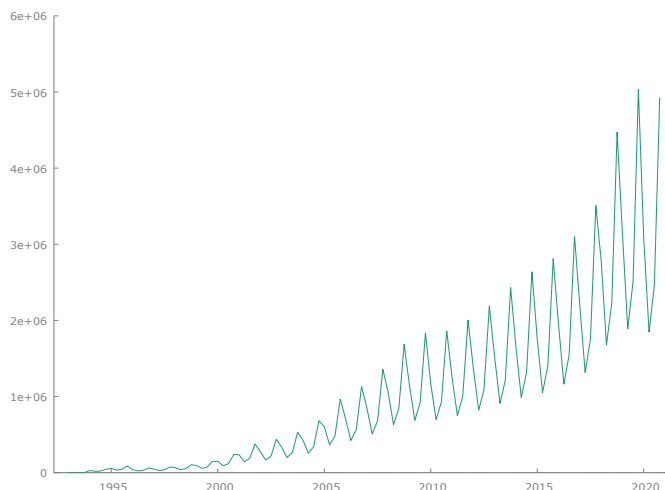


Figure 1. Dynamics of changes in investments in the period 1993-2020 years

To check the series for stationarity, we use the extended Dickey-Fuller test. The test results are shown in Model1.

Model1: Extended Dickey-Fuller test for the dependent variable

Extended Dickey-Fuller Test for Investment
Test starting from 12 lags, AIC criterion
Sample size 100
Unit root null hypothesis: $a = 1$

Constant test

including 11 lag(s) for (1-L)Investment
model: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
score for (a - 1): 0.0443686
test statistic: $\tau_c(1) = 2.29039$

asympt. p-value 1

coefficient 1st order autocorrelations for e: -0.003
difference lag: $F(11, 87) = 829.828 [0.0000]$

With constant and trend

including 11 lag(s) for (1-L)Investment
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
score for (a - 1): -0.0344929
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -0.741804$

asympt. p-value 0.9692

coefficient 1st order autocorrelations for e: -0.005
difference lag: $F(11, 86) = 561.608 [0.0000]$

The test data allow us to conclude that the series is integrated. Therefore, we will carry out a similar test for the first differences of the variable under consideration (investment). The test results are shown in Model 2. Analysis of Model 2 allows us to conclude that the null hypothesis about the presence of a unit root for a number of first differences is rejected at a 1% significance level.

Model 2: Extended Dickey-Fuller test for the first differences of the dependent variable

Extended Dickey-Fuller test for d_Investment
test. starting from 12 lags, AIC criterion
sample size 100
unit root null hypothesis: $a = 1$

Constant test

including 10 lag(s) for (1-L)d_Investment
 model: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
 score for (a - 1): -1.09273
 test statistic: $\tau_c(1) = -3.46683$
 asympt. p-value 0.008908
 coefficient 1st order autocorrelations for e: 0.007
 difference lag: $F(10, 88) = 937.312 [0.0000]$

With constant and trend

including 10 lag(s) for (1-L)d_Investment
 model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
 estimate for (a - 1): -2.30051
 test statistic: $\tau_{ct}(1) = -4.45681$
 asympt. p-value 0.001719
 coefficient 1st order autocorrelations for e: -0.006
 difference lag: $F(10, 87) = 1011.842 [0.0000]$

The correlogram confirms that the model under consideration has a 4th order autoregression (the corresponding lag is significant). Figure 2 clearly shows seasonality. Let us estimate the parameters of the ARIMA(4,1,0) model for the Investment series.

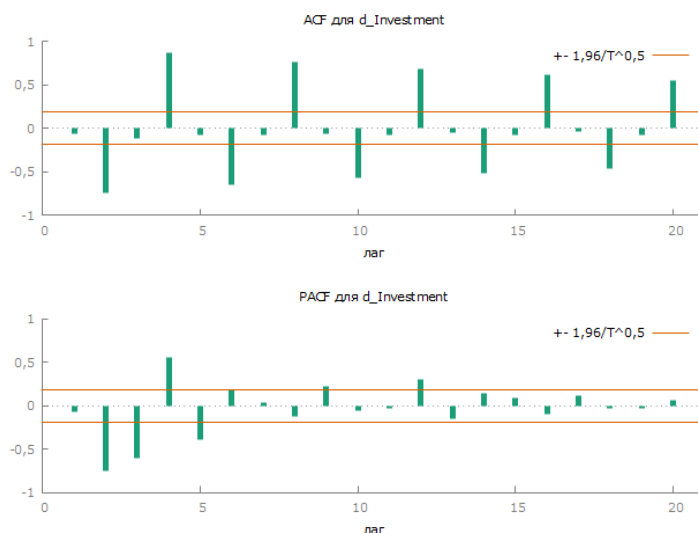


Figure 2. Correlogram for the first differences of the time series

The results of model estimation are contained in Tables 1, 2.

Table 1. Model3: ARIMA, observations used 1993:1-2020:4 (T = 112). Estimated using AS 197 (exact MT method). Dependent variable: Investment. Standard errors calculated from the Hessian

| value | Coefficient | Std. Error | z | p-value |
|-------|-------------|------------|--------|-----------|
| const | 1,54163e+06 | 597603 | 2,580 | 0,0099 |
| Phi_1 | 1,92907 | 0,104758 | 18,41 | 1,00e-075 |
| Phi_2 | -1,56938 | 0,207035 | -7,580 | 3,45e-014 |
| Phi_3 | 1,15053 | 0,229460 | 5,014 | 5,33e-07 |
| Phi_4 | -0,524425 | 0,133285 | -3,945 | 8,33e-05 |

Table 2. Model3: ARIMA, dispersion statistics

| | | | | |
|-----------------------|-----------|--|---------------------------------------|-----------|
| Average hang change | 998761,2 | | Dependent variable standard deviation | 1084525 |
| Non-centered R-square | 0,990168 | | Centered R-square | 0,989895 |
| Log. credibility | -1472,262 | | Criterion of Akaike | 2963,141 |
| Criterion of Schwartz | 2972,835 | | Criterion of Hennana-Quinna | -58,47622 |

Thus, in order to predict the dynamics of investments, it is necessary to take into account lag variables, which will be taken into account in the model being developed.

Consider a non-linear model of changes in investments of the current period from the index of gross domestic product and investments of the previous period. A similar model is analyzed in [5].

$$I_i = A * I_{t-1} * \Delta Q_{t-1} \quad (1)$$

Where

A – the nature of the technology, linking the level of investment with the dynamics of GDP;

I_{t-1} – investments of the previous period;

ΔQ_{t-1} – is the GDP change index of the previous period.

Since the model includes a lag delay, a partial adjustment method can be used, which allows the most effective leveling of autocorrelation and reflecting the delay in the model.

We take the logarithm of this dependence and construct a linear regression equation:

$$\text{Ln}I_t = \text{Ln}A + \text{Ln}I_{t-1} + \text{Ln}\Delta Q_{t-1} \quad (2)$$

Let us introduce the notation:

$\text{Ln}I_t = Y_t$;

$\text{Ln}A = a_0$;

$\text{Ln}I_{t-1} = Y_{t-1}$;

$\text{Ln}\Delta Q_{t-1} = X_{t-1}$

And get the following linear multiple regression equation:

$$Y_t = a_0 + Y_{t-1} + X_{t-1} + u \quad (3)$$

It should be noted that the values of the factors may contain the problem of multicollinearity, since the values of $\text{Ln}I_t$ and $\text{Ln}I_{t-1}$ are closely correlated, due to the fact that they characterize observations with a lag of one period.

When an autoregressive model is considered, the condition that there is no connection between the resulting indicator and the random component is not met. Therefore, it is impossible to use the ordinary least squares method, since its application leads to biased estimates of the estimated parameter [6]. To eliminate multicollinearity, we can use the partial adjustment mechanism, which assumes that our model examines not the actual value of the variable, but its target level.

Let us consider successively the dependence of investments of the current period on the level of investments of the previous period and the dependence of investments of the current period on changes in the real gross domestic product of the previous period. As Wojciech W. Charemza writes: ‘The general autoregressive model is usually described in the form of an autoregressive distributed lag (ADL). This means that the dependent variable is an exponential function of the eigenvalues, as well as the current and lagging values of all independent variables’ [7, p.59].

Direct notation of the ADL model uses the lag operator L^r , defined for the variable X as:

$$L^r X_t = X_{t-r} \quad (4)$$

Scalar polynomials in L are also convenient:

$$\alpha(L) = \sum_{i=m}^n \alpha_i L^i \quad (5)$$

so:

$$\alpha(L)X_t = \sum_{i=m}^n \alpha_i L^i X_t = \alpha_m X_{t-m} + \alpha_{m+1} X_{t-m-1} + \dots + \alpha_n X_{t-n} \quad (6)$$

Thus, $\alpha(L)X_t$ is the weighted sum of the lag values of the variable X_t above level n .

The partial adjustment model assumes that the equation will be described not in terms of actual values, but in terms of describing the target level of the resulting indicator.

$$Y_t^* = \alpha + \beta X_{t-1} + \mu_t \quad (7)$$

The actual change in the dependent variable ($Y_t - Y_{t-1}$) is proportional to the difference between its target level (Y_t^*) and the value of the previous period:

$$Y_t - Y_{t-1} = \lambda(Y_t^* - Y_{t-1}) + \nu_t \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (8)$$

where

ν_t – random member

From Equation 8 we define Y_t :

$$Y_t = \lambda Y_t^* - \lambda Y_{t-1} + Y_{t-1} + \nu_t = \lambda Y_t^* + (1 - \lambda)Y_{t-1} + \nu_t \quad (9)$$

Substituting into the Equation 7 Equation 5, we get:

$$Y_t = \alpha\lambda + \beta\lambda X_{t-1} + (1 - \lambda)Y_{t-1} + \nu_t + \lambda\mu_t \quad (10)$$

Let us estimate the regression equation according to the specification of Equation 10, which uses the logarithms of the considered indicators. Having estimated the dependence of investments of the current period on changes in the real gross domestic product and the level of investments of the previous period, we obtain the parameters of the behavioral model: α ; β ; λ .

The coefficient at Y_{t-1} gives the value $(1-\lambda)$, knowing it, you can determine the coefficient λ . Further, knowing the coefficient λ , we determine the coefficients α and β . The resulting model includes a stochastic explanatory factor Y_{t-1} . But this variable is now not correlated with the current value of the total random term, since the random terms of the equation ν_t and μ_t are calculated after Y_{t-1} is determined [8].

Let's consider how the target level of investment correlates with the actual level. The level of investment is proportional to the change in the level of gross domestic product. Many studies have proven rather high correlation between changes in real gross domestic product and changes in the volume of investment. In particular, one of the studies mentions: “Empirical results confirm that in the long run, private, public investments have a positive effect on real gross domestic product” [9].

As a rule, the planned level of economic growth (ΔQ^*t) is laid down by the government and is the so-called target that is being sought.

$$\Delta Q_t^* = \kappa \Delta Q_{t-1} \quad (11)$$

Usually a positive growth trend is planned. In Kazakhstan, the positive dynamics of growth in the index of the physical volume of gross domestic product is influenced by: population growth and the magnitude of development and expansion of technological innovations. However, in Kazakhstan, since 2016, investment growth is mainly associated with public sector investments, the private sector has significantly reduced investments. The pandemic has had a negative impact on the level of investments.

The drop in economic growth in 2020 by 2.6% against 2019 was partially offset in 2021, the GDP grew by 4%. However, this level did not allow to overcome the recession of 2020. The low base of 2020 gives false

information about the positive dynamics in relative terms associated with overcoming the recession of the previous period.

The main impact on the recovery of economic growth in 2021 was provided by measures of state support for investment in residential real estate, which partially offset the decline in gross investment in other sectors of the economy. Also in 2021, the value of Kazakhstani exports increased due to a raise in oil production by 6%. The target of economic growth in Kazakhstan for 2022 is economic growth of at least 4%. At the same time, the share of investments in fixed capital in relation to the gross domestic product should be at least 18.5%.

Model Results

To test the hypothesis that investments depend on changes in real gross domestic product and investment volumes of the previous period, we used official statistics for the period 1993-2020 on a quarterly basis. Using data series tested for stationarity, we obtained a multiple regression equation that reflects the dependence of investment on changes in real gross domestic product and investment volumes of the previous period. The results of the model are shown in Table 3.

Table 3. Model 4: MLS, observations used 1994:2-2020:4 ($T = 107$)

Dependent variable: (Y_t).

Model of the relationship between investments of the current period from investments of the previous period and the GDP index.

| value | Coefficient | Std. Error | t-statistic | p-value |
|-----------|-------------|------------|-------------|---------|
| λ | 3,43600 | 0,9454932 | 3,659 | 0,0078 |
| Y_{t-1} | - 2,77280 | 0,954522 | -2,905 | 0,0045 |
| vt | -0,300552 | 0,0468903 | -6,410 | <0,0001 |
| X_{t-1} | 0,616796 | 0,0474933 | 12,99 | <0,0001 |

$$Y_t = 3.436 + 0.616X_{t-1} - 2.772Y_{t-1} \quad (12)$$

The regression and dispersion statistics of the resulting equation are shown in Table 4.

Table 4. Model 4: MLS. Regression variance statistics of a nonlinear model of the dependence of investments of the current period on investments of the previous period and the GDP index.

| | | | |
|-------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| Dependent variable mean | 0,048223 | Dependent variable Std. deviation | 0,486836 |
| Sum of Sq. remainders | 3,051206 | Model Std. Error | 0,173810 |
| Non-centered R-square | 0,879740 | Centered R-square | 0,878549 |
| $F(6, 101)$ | 123,1414 | P-value (F) | 3,70e-44 |
| Log. credibility | 38,48870 | Criterion of Akaike | -64,97739 |
| Criterion of Schwartz | -48,94042 | Criterion of Hennana-Quinna | -58,47622 |
| Parameter rho | -0,011828 | h- Darbin statistic | -0,139489 |

The data in Table 4 allow us to conclude that the relationship between the selected factor characteristics and the effective one is quite strong.

Testing the hypothesis about the absence of dependence of investments of the current period on the GDP index and investments of the previous period gave the following results.

$$t = \frac{b - \beta_0}{c.o.(b)} = \frac{b - 0}{c.o.(b)} = \frac{0.616}{0.047} = 12.99 \quad (13)$$

$$t = \frac{\alpha - \alpha_0}{c.o.(b)} = \frac{\alpha - 0}{c.o.(b)} = \frac{3.436}{0.945} = 3.659 \quad (14)$$

$$t = \frac{b - \beta 0}{c.o.(b)} = \frac{b - 0}{c.o.(b)} = \frac{-2.77}{0.954} = -2.905 \quad (15)$$

Comparing the calculated value of t-statistics with the tabular value, we reject the null hypothesis, concluding that the value of β is actually different from zero, respectively, investments of the current period depend on the change in the GDP index and investments of the previous period.

Assessing the quality of the model obtained through the Fisher coefficient, we can state the following F - calculated, equal to 123.14, significantly higher than F - critical, equal to 3.39, respectively, the value of the coefficient of determination did not appear by chance. A greater number of factors influencing the studied indicator is included in the studied model.

Based on the obtained coefficients, the following parameters are determined: α ; β ; λ .

$$1 - \lambda = -2.77 \quad \lambda = 1 + 2.77 = 3.77$$

$$\alpha \lambda = 3.436 \quad \alpha = 3.436 / 3.77 = 14.559$$

$$\beta \lambda = 0.616 \quad \beta = 0.616 / 3.77 = 0.163$$

The obtained parameters allow us to give an economic interpretation of the results:

In the absence of the influence of the real gross domestic product index and the level of investments of the previous period, autonomous investments are at the level of: $e^{3.436} = 31.0625$ million tenge per year, which is an extremely low indicator for economic growth and, accordingly, the economy needs a significant infusion of direct investment.

Autonomous investments do not correlate with changes in the country's national income, they serve to restore capital and upgrade it [10]. In a period of rapidly changing technological conditions and, accordingly, changes in the tastes and preferences of consumers, it is autonomous investments that make it possible to produce products of higher quality and meeting modern requirements. Also in high-tech industries, it is autonomous investments that make it possible to lead the industry by increasing the productivity of factors, both capital and labor.

The degree of sensitivity of the investments of the current period to the investments of the previous period is equal to $e^{0.616} = 1.8517$. With an increase in investments of the previous period by 1 million tenge, investments in the current period will increase by 1.8517 million tenge. Thus, the level of investment in the current period will have a double effect on the level of investment in the next period, which leads to a multiplier effect of investment growth. On the other hand, if in the current period the level of investment is insufficient, then this will also have a multiplicative effect on the level of investment in the next period and a decrease in economic growth.

The change in investments of the current period from the rate of change in real gross domestic product will be: $e^{-2.77} = 0.0627$. The growth of real gross domestic product by 1 million tenge leads to an increase in investments by 0.0627 million tenge. Thus, we see that Kazakhstan has a rather low level of capital intensity ratio, which characterizes the declining trend of induced investment and indicates the importance of increasing economic growth rates for the manifestation of a multiplier growth of induced investment.

The impact of the GDP index is lower than the impact of the investment level of the previous period. Since the dynamics of the GDP index has decreased in the last few years, this is directly reflected in the decline in the dynamics of induced investment. The average growth of the index of the physical volume of GDP in the period 2000-2006 was 10.3%, it corresponded to the index of the physical volume of investments equal to 26%. In the period 2007-2020, the growth rate of the GDP dynamics decreased to 3.9%, which was reflected in the decrease in the index of the physical volume of investments to the level of 10.3% [11].

Conclusion

In conclusion, it should be noted that the expected economic growth, measured through the growth of the real gross domestic product index, requires an increase in investment in the current period. According to the accelerator principle, the proportionality coefficient between the volume of investment and the change in gross domestic product is greater than 1, so the growth of real output requires an increase in investment spending.

Thus, for sustainable economic growth during economic downturns caused by both economic and other reasons, it is necessary to compensate for the decline in investment in the current period, in order to reduce the multiplier effect of depressed investment in the future period and, as a consequence, the slowdown in economic growth.

The current economic situation in the world shows the importance of investment in the real sector of the economy of any country.

Specialist who are dealing with investments into securities describe that in primitive economies the bulk of investments are real investments, while in the modern economy most of the investments are represented by financial investments. Nowadays the statement above is being refuted by current economic situation in the world. [12, с.1]. The importance of investments in the real sector of the economy is confirmed by the unstable state of the economies of the developed countries of the world.

References:

- 1 Aleksandr V. Menshikov, Yelena V. Kalabashkina, Sergey A. Zverev. *Investment as a Factor of Economic Growth. Mediterranean Journal of Social Sciences Vol 6 No 3 S7, June 2015* Doi:10.5901/mjss.2015.v6n3s7p259
- 2 *The Global Economy: on Track for Strong but Uneven Growth as COVID-19 Still Weighs. JUNE 8, 2021* [Electronic resource] – URL: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/06/08/the-global-economy-on-track-for-strong-but-uneven-growth-as-covid-19-still-weighs> .
- 3 N Z Safiullin and B L Safiullin. *Static and dynamic models in economics.* [Electronic resource] – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/3/032117/pdf>
- 4 Kevin Lee and M. Hashem Pesaran. *Econometric Analysis of Nonlinear Dynamic Models with Applications in International Macroeconomics.* [Electronic resource] – URL: <https://www.econ.cam.ac.uk/people-files/emeritus/mhp1/nonleoa.pdf>
- 5 Evans Kulu, Samuel Mensah and Prince Mike Sena (2021). *Effects of foreign direct investment on economic growth in Ghana: the role of institutions. Economics of Development, 20(1), 23-34.* doi:10.21511/ed.20(1).2021.03
- 6 Shalabh, IIT Kanpur. *Chapter2-Econometrics-SimpleLinearRegression Analysis.* [Electronic resource] – URL: <http://home.iitk.ac.in/~shalab/econometrics/Chapter2-Econometrics-SimpleLinearRegressionAnalysis.pdf>
- 7 Wojciech W. Charemza. *Defek F. New directions in econometric practice: general to specific modeling, cointegration and vector autoregression.* Biddles Limited. 1997. 435 с.
- 8 Edwin Burmeister and Stephen J. Turnovsky *The Specification of Adaptive Expectations in Continuous Time Dynamic Economic Models. Econometrica. Vol. 44, No. 5 (Sep., 1976), pp. 879-905 (27 pages)*
- 9 Khang The Nguyen, Hung Thanh Nguyen *The Impact of Investments on Economic Growth: Evidence from Vietnam Journal of Asian Finance, Economics and Business Vol 8 No 8 (2021) 0345–0353* [Electronic resource] – URL: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202120953698349.pdf>
- 10 Muse, A., & Mohd, S. *Impact of Foreign Direct Investment on Economic Growth in Ethiopia. Latin American Journal of Trade Policy, 4(10), 56 - 77.* doi:10.5354/0719-9368.2021.61853
- 11 *Key socio-economic indicators.* [Electronic resource]- URL: <https://stat.gov.kz>
- 12 . Gordon J. Alexander, William F. Sharpe , Jeffery V. Bailey *Fundamentals of Investments– Prentice Hall –1028 p. ISBN -10:0132926172*

STABILIZED FINITE ELEMENT METHOD FOR DETERMINING SATURATION IN THE NON-EQUILIBRIUM FLOW PROBLEM

Baigereyev D.R.¹, Omariyeva D.A.^{2*}, Boranbek K.²

¹ S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

² D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

*e-mail: dinara_2205@mail.ru

Abstract

In this paper, a hybrid finite difference/finite element method for solving the saturation equation in the problem of two-phase non-equilibrium fluid flow in porous media is constructed. The model under consideration is obtained on the basis of the non-equilibrium fluid flow model by S. M. Hassanzadeh with the generalized global pressure concept. Due to the hyperbolic nature of the equation, it has several difficulties leading to the need for a careful choice of the solution method. The classical Galerkin method leads to the appearance of non-physical oscillations at phase interfaces. The paper investigates the application of stabilized finite element methods for their suppression. Three classical stabilized methods are compared: the streamline upwind Petrov-Galerkin (SUPG), the Galerkin least squares (GLS), and the unusual stabilized finite element method (USFEM), and several stabilizing parameters. The comparison of these methods and stabilization parameters is carried out on the basis of three computational experiments.

Keywords: non-equilibrium flows in porous media, stabilized finite element method, SUPG, GLS, USFEM.

Аңдатпа

Д.Р. Байгереев¹, Д.А. Омариева², К. Боранбек²

¹ С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан

² Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

ЕКІ ФАЗАЛЫ ТЕПЕ-ТЕҢ ЕМЕС АҒЫН ЕСЕБІНДЕГІ ҚАНЫҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУДЫҢ ТҰРАҚТАНДЫРЫЛҒАН АҚЫРЛЫ ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІ

Бұл жұмыста кеуекті ортадағы сұйықтықтың екі фазалы тепе-тең емес ағымы есебіндегі қанықтық теңдеуін шешуге арналған ақырлы айырымды/ақырлы элементтер гибриді әдісі жасалды. Қарастырылып отырған модель С.М. Хассанизадениң тепе-тең емес сұйықтық ағынының моделі және жалпыланған глобалды қысымы негізінде алынды. Теңдеудің гиперболалық сипатына байланысты, оны шешу бірқатар қиындықтарды туғызады және шешу әдісін мұқият таңдауды қажет етеді. Классикалық Галеркин әдісі фазалардың бөліну шекарасында физикалық емес осцилляциялардың пайда болуына әкеледі. Мақалада оларды жою үшін тұрақтандырылған ақырлы элементтер әдістерін қолдану қарастырылады. Тұрақтандырылған үш классикалық әдіс - Петров-Галеркиннің ағынға қарсы әдісі (SUPG), Галеркиннің ең кіші квадраттар әдісі (GLS) және стандартты емес тұрақтандырылған ақырлы элементтер әдісі (USFEM), сонымен қатар бірнеше тұрақтандырушы параметрлер салыстырылады. Аталған әдістер мен тұрақтандыру параметрлерін салыстыру үш есептеу тәжірибесі негізінде жүзеге асырылады.

Түйін сөздер: кеуекті ортадағы тепе-тең емес ағындар, тұрақтандырылған ақырлы элементтер әдісі, SUPG, GLS, USFEM.

Аннотация

Д.Р. Байгереев¹, Д.А. Омариева², К. Боранбек²

¹ Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

² Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОСТИ В ЗАДАЧЕ ДВУХФАЗНОГО НЕРАВНОВЕСНОГО ТЕЧЕНИЯ

В работе построен гибридный метод конечных разностей/конечных элементов для решения уравнения насыщенности в задаче двухфазном неравновесном течении жидкости в пористых средах. Рассматриваемая модель получена на основе модели неравновесного потока жидкости С. М. Хассанизаде с обобщенным глобальным давлением. Из-за гиперболического характера уравнения его решение сопровождается рядом трудностей, приводящих к необходимости тщательного выбора метода решения. Классический метод Галеркина приводит к появлению нефизических осцилляций на границах раздела фаз. В статье исследуется применение стабилизированных методов конечных элементов для их подавления. Сравняются три классических

стабилизированных метода: противопотоковый метод Петрова-Галеркина (SUPG), метод наименьших квадратов Галеркина (GLS) и нестандартный стабилизированный метод конечных элементов (USFEM), а также несколько стабилизирующих параметров. Сравнение этих методов и параметров стабилизации проводится на основе трех вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: неравновесные течения в пористых средах, стабилизированный метод конечных элементов, SUPG, GLS, USFEM.

1 Introduction

The dynamics of multiphase fluid flows in porous media depends non-linearly on both the structural and mechanical properties of the fluid and the properties of the surrounding skeleton. However, in real reservoir conditions, the property of delayed phase saturation has a significant influence on the flow process. The study of this behaviour led to the emergence of the theory of non-equilibrium fluid flows in porous media. The need to take this phenomenon into account in the development of oil fields is discussed in many works [1, 2]. It is necessary to take into account non-equilibrium at all stages of oil field development since the dependences of the pressure drop on time obtained during laboratory studies of samples of a porous medium for determining the functions of relative phase permeability differ significantly from the theoretical curves calculated in the framework of the classical theory of fluid flows in porous media. The effect of non-equilibrium can be significant: the time of the saturation establishment in the real oil fields conditions is about a year.

There are several approaches to constructing a non-equilibrium model of fluid flow in porous media. The first approach [3] is based on thermodynamic arguments and volume averaging of microscopic conservation equations of mass and moment. In [3], the concept of dynamic capillary pressure p_c^{dyn} , instantaneous local difference between phase pressures, was introduced, which relates to the static capillary pressure p_c^{stat} , capillary pressure under quasi-static displacement by the relation

$$p_o - p_w = p_c(s) - L\partial_t s,$$

where L is a positive valued phenomenological coefficient and s is the water saturation. During the drainage process, $\partial_t s$ is negative, therefore $p_c^{dyn} > p_c^{stat}$, which is confirmed by experimental observations [4]. Dynamic capillary pressure has been the subject of many experimental [5] and theoretical [6, 7] studies.

The approach proposed by the authors of [3] does not take into account the effects of non-equilibrium on relative phase permeabilities. A more complete model, including the effects of non-equilibrium in both capillary pressure and relative permeability, is proposed by the authors of [8]. An uncountable number of large-scale pore rearrangements occur when the multiphase fluid is displaced. The characteristic time of redistribution for the restructuring of flow networks can be significant. As a result, the flow of each phase does not depend only on the current saturation. The approach under consideration is based on the assumption that instantaneous (dynamic) phase permeabilities and capillary pressure depend on static phase permeabilities and capillary pressure at some effective saturation [9].

In this paper, we consider the non-equilibrium model developed in [3]. First, we construct the computational model by utilizing the generalized global pressure approach. In this case, the equations of the model are reduced to a system of partial differential equations for pressure, velocity and saturation. The saturation equation is of convection-diffusion type with a predominance of convection. The use of the standard Galerkin method leads to the appearance of non-physical oscillations [10, 11]. There are several approaches to suppress these oscillations. One of the approaches is to employ the Galerkin method with discontinuous basis functions, the main disadvantage of which is a significant increase in the number of degrees of freedom. One of the effective ways to construct non-oscillating schemes is to utilize the combined finite element volume method for saturation with the counterflow calculation of the mobility coefficient.

In this work, we use the approach based on the stabilization technique. It consists in adding artificial viscosity to the equation depending on velocity and some stabilizing parameters. The paper deals with the study of the stabilization influence on the sought approximate solution. Specifically, we consider three classical stabilization methods and several stabilizing parameters, and present the numerical tests analysis confirming the effectiveness of their application to the saturation equation in the non-equilibrium flow problem.

2 Formulation of the Problem

Let us consider the problem of two-phase non-equilibrium incompressible fluid flow in porous media with a non-equilibrium law in a bounded convex domain $\Omega \subset R^2$ with a boundary $\Gamma = \Gamma_D \cup \Gamma_N$, $\Gamma_D \cap \Gamma_N = \emptyset$:

$$\phi \partial_t s + \nabla \cdot \vec{u}_w = q_w(p, s), \quad (1)$$

$$-\phi \partial_t s + \nabla \cdot \vec{u}_o = q_o(p, s), \quad (2)$$

$$\vec{u}_\alpha = -\frac{Kk_\alpha(s)}{\mu_\alpha} \nabla p_\alpha, \alpha \in \{w, o\}, \quad (3)$$

$$p_o - p_w = p_c(s) - L \partial_t s, \quad (4)$$

with initial and boundary conditions

$$s(x, 0) = s_o(x), \quad x \in \Omega, \quad (5)$$

$$\vec{u}_\alpha \cdot \vec{n} = 0, \quad x \in \Gamma, t > 0, \quad (6)$$

where ϕ , K are the porosity and absolute permeability of the medium; the subscript α denotes the phases of water w and oil o , respectively; s is the water saturation; $p_\alpha, k_\alpha, \mu_\alpha, \vec{u}_\alpha$ is the pressure, relative phase permeability, viscosity, and fluid velocity of the phase α , respectively; q_α is the source/sink term; L is substitution time.

We introduce the total velocity vector as follows to obtain a computational model:

$$\vec{u} = \vec{u}_w + \vec{u}_o. \quad (7)$$

By making use of (3) one can easily derive the relation between the total velocity and gradients of phase pressures:

$$\vec{u} = -k(\lambda_w \nabla p_w + \lambda_o \nabla p_o), \quad (8)$$

where $\lambda_\alpha = k_\alpha \mu_\alpha^{-1}$ is the mobility of the phase α . We introduce a new variable, the generalized global pressure p , such that:

$$\lambda_w \nabla p_w + \lambda_o \nabla p_o = \lambda \nabla p, \quad (9)$$

where $\lambda = \lambda_w + \lambda_o$ is the total mobility. By using equations (1)-(4), the explicit form of p can be easily obtained:

$$p = h_w p_w + h_o p_o + \frac{1}{2}(h_w - h_o)p_c - \frac{1}{2} \int_{s_c}^s (f_w - f_o) p'_c(\xi) d\xi, \quad (10)$$

where $h_w = h_w(s)$ and $h_o = h_o(s)$ are some functions called weights such that $h_w + h_o = 1$, and $f_\alpha = \frac{\lambda_\alpha}{\lambda}$.

In order to obtain the pressure equation, sum up equations (1) and (2) and use (8) and (9):

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{u} &= 0, \\ (k\lambda)^{-1} \vec{u} + \nabla p &= q, \end{aligned} \quad (11)$$

where $q = q_w + q_o$. The phase velocities are expressed in terms of the total velocity by the relation

$$\bar{u}_w = f_w(s)\bar{u} - \gamma(s)\nabla s - \gamma_1(s)\nabla(L\partial_t s), \quad (12)$$

where $\gamma(s) = -K\lambda_o(s)f_w(s)\frac{dp_c}{ds} > 0$, $\gamma_1(s) = K\lambda_o(s)f_w(s) > 0$. Substitute (12) into (1) to get the saturation equation:

$$\phi\partial_t s + f'_w(s)\bar{u} \cdot \nabla s - \nabla \cdot (\gamma(s)\nabla s) - \nabla \cdot (\gamma_1(s)\nabla(L\partial_t s)) = q. \quad (13)$$

Thus, the computational model consists of the equations(11), (13) and the corresponding initial and boundary conditions.

In [12], the mixed finite element method was constructed for solving the equations (11), the convergence of the method was investigated and its a posteriori analysis was carried out. In this paper, we focus on solving the equation (13) with the following initial and boundary conditions in more detail:

$$s(x,0) = s_0, \quad x \in \bar{\Omega}, \quad (14)$$

$$s = g_D, \quad x \in \Gamma_D; \quad \nabla s \cdot \vec{n} = g_N, \quad x \in \Gamma_N, \quad t > 0, \quad (15)$$

Assuming that the vector \bar{u} is known and f , g_D , g_N are given functions. Suppose that this problem has a unique solution in the class of sufficiently smooth functions. For simplicity, we assume that $\phi = 1$.

Let

$$V = \{v \in H^1(0,T;H^1(\Omega)): v|_{\Gamma_D} = g_D\}, \quad V_0 = \{v \in H^1(\Omega): v|_{\Gamma} = 0\}$$

Next, we define a weak formulation of the problem (13)-(15): find $s \in V$ such that for all $w \in V_0$:

$$(\partial_t s, w) + (\gamma(s)\nabla s, \nabla w) + (f'_w(s)\bar{u} \cdot \nabla s, w) + (\gamma_1(s)\nabla\partial_t s, \nabla w) = (q, w), \quad (16)$$

where (\cdot, \cdot) denotes the scalar product in $L^2(\Omega)$.

Let Ω_h is the quasiuniform partition of Ω and NE is the number of elements in Ω_h . Define the finite element space $V_h \subset V$ as follows:

$$V_h = \{v_h \in H_0^1(\Omega) \cap C^0(\bar{\Omega}) | v_h|_K \in P_1(K) \quad \forall K \in \Omega_h\}$$

Let us introduce a uniform grid on the time interval $[0, T]$ by points $t_n = n\Delta t$, where $\Delta t > 0$ is the time step. Discretize the time derivative in (16) using the backward Euler scheme as follows:

$$\left(\frac{s^n - s^{n-1}}{\Delta t}, w\right) + (\gamma(s^n)\nabla s^n, \nabla w) + (f'_w(s^n)\bar{u} \cdot \nabla s^n, w) + \left(\gamma_1(s^n)\frac{\nabla s^n - \nabla s^{n-1}}{\Delta t}, \nabla w\right) = (q, w). \quad (17)$$

Construct the following iterative method based on (17):

$$\begin{aligned} &\left(\frac{s^{n,m} - s^{n-1}}{\Delta t}, w\right) + (\gamma(s^{n,m-1})\nabla s^{n,m}, \nabla w) + (f'_w(s^{n,m-1})\bar{u} \cdot \nabla s^{n,m}, w) + \\ &+ \left(\gamma_1(s^{n,m-1})\frac{\nabla s^{n,m} - \nabla s^{n-1}}{\Delta t}, \nabla w\right) = (q, w) \end{aligned} \quad (18)$$

where $s^{n,m}$ is the sought function at the m -th iteration.

3 Stabilization of the Equation

Let us first consider the special stationary case in which $\gamma_1(s) \equiv 0$, $k_1 = \gamma(s^{n,m-1})$, $\vec{u}_1 = f'_w(s^{n,m-1})\vec{u}$ are known functions. By denoting $s^{n,m} = s$, it follows from (18) that

$$(k_1 \nabla s, \nabla w) + (\vec{u}_1 \cdot \nabla s, w) = (q, w), \forall w \in V_0. \quad (19)$$

Seek the solution in the form $s = \sum_{j=1}^{NE} s_j \varphi_j(x)$ where $\varphi_j(x)$ denote the basis functions. According to the standard Galerkin method, we choose $w = \varphi_i(x)$. Thus, we arrive at the following system of equations with respect to s_j :

$$\sum_{j=1}^{NE} [(k_1 \nabla \varphi_j, \nabla \varphi_i) + (\vec{u}_1 \cdot \nabla \varphi_j, \varphi_i)] s_j = (q, \varphi_i), i = \overline{1, NE}.$$

This yields the system of algebraic equations

$$AS = F \quad (20)$$

with elements $A = [A_{i,j}]$, $F = [F_i]$,

$$A_{i,j} = (k_1 \nabla \varphi_j, \nabla \varphi_i) + (\vec{u}_1 \cdot \nabla \varphi_j, \varphi_i), F_i = (q, \varphi_i), S = (s_1, s_2, \dots, s_{NE})^T.$$

According to the stabilization technique, we modify the elements of the stiffness matrix $A_{i,j}$ in the following way:

$$A_{i,j}^{stab} = A_{i,j} + \sum_K \tau_K (A_{i,j} s_h - q, \tilde{A}_{i,j} \varphi_i)_K. \quad (21)$$

The specific choice of the operator \tilde{A} leads to different stabilization methods. For example [13],

$$\begin{aligned} \text{SUPG :} & \quad \tilde{A} w_h = \vec{u}_1 \cdot \nabla w_h, \\ \text{GLS :} & \quad \tilde{A} w_h = -\nabla \cdot (k_1 \nabla w_h) + \vec{u}_1 \cdot \nabla w_h, \\ \text{USFEM :} & \quad \tilde{A} w_h = \nabla \cdot (k_1 \nabla w_h) + \vec{u}_1 \cdot \nabla w_h. \end{aligned} \quad (22)$$

One of the important points in the implementation of stabilized methods is the choice of the stabilization parameter τ_K . The parameter is chosen based on the problem properties, for example, on the principle of discrete maximum, convergence and stability analysis, and others. We give the following examples of the stabilizing parameters for linear elements in accordance with the chosen method [13]:

$$\tau_K^{SUPG} = \begin{cases} \frac{h_K}{2|\vec{u}_K|} & \text{when } Pe_K \geq 1, \\ \frac{h_K^2}{12k_1} & \text{when } Pe_K < 1, \end{cases} \quad (23)$$

$$\tau_K^c = \left(\frac{4k_1}{h_K^2} + \frac{2|\vec{u}_K|}{h_K} \right)^{-1}, \quad (24)$$

$$\tau_K^s = \left(9 \left(\frac{4k_1}{h_K^2} \right)^2 + \left(\frac{2|\vec{u}_K|}{h_K} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (25)$$

$$\tau_K^a = \left(\frac{12k_1}{h_K^2} + \frac{2|\bar{u}_K|}{h_K^2} \right)^{-1}, \quad (26)$$

$$\tau_K^{fv} = \left(\frac{6k_1}{h_K^2} \zeta \left(\frac{|\bar{u}_K| h_K}{3k_1} \right) \right)^{-1}, \quad (27)$$

where $Pe_K = \frac{|\bar{u}_K| h_K}{6k_1}$, h_K is diameter of the triangle K .

In the non-stationary case, the matrix A and the vector F depend on time. Let A_n and F_n denote the matrix A and vector F evaluated at $t = t_n$. Then (18) reduces to the system of algebraic equations

$$S_n = (M + \Delta t A_n^{stab})^{-1} (M S_{n-1} + \Delta t F_n),$$

where M is the mass matrix, S is the solution of (16) at $t = t_n$.

4 Comparison of the Stabilizing Parameters

Let us compare the stabilization methods (22) and the stabilizing parameters (23)-(27) based on three computational experiments. The first computational experiment is to test the stabilization effect on the approximate solution using the SUPG method as an example. The second computational experiment is to estimate the deviation from the upper and lower bounds of the solution using stabilization methods and stabilizing parameters and different grid configurations. The third computational experiment is to compare an approximate solution with a known exact solution.

Example 1. In $\Omega = [0,1]^2$, consider the problem (15), (19) with the parameters $\bar{u}_1 = (\sqrt{2}/2, -\sqrt{2}/2)$, $k_1(x) \equiv 10^{-4}$, $q = 0$, $\Gamma_N = \emptyset$, and

$$g_D(x) = \begin{cases} 1, & x \in \{(x_1, x_2): x_1 = 0, x_2 \leq 0.8 \text{ or } x_2 = 0, x_1 \leq 0.8\}, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Choosing the coefficient k_1 in this form makes the problem with a predominance of convection. This equation has a gap along the straight line $x_2 = -0.8 + x_1$, including at the point $(0, 0.8)$ on the boundary of the domain. Figure 1 (a) and Figure 1 (b) shows the solution obtained without stabilization on different meshes with different level of thickness. During computational experiments, thickening the grid along the gap line and near the break at the border does not fully suppress the oscillations. Figure 1 (c) shows that the stabilization significantly improves the quality characteristics of the approximate solution.

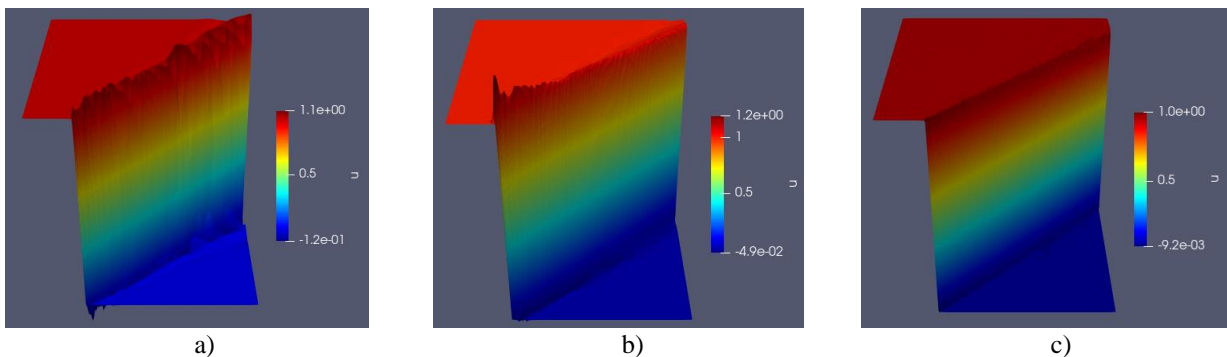


Figure 1. Thickening the grid and using the stabilized method
 a) Thickening the grid near a break at the boundary; b) Thickening the grid along the gap line;
 c) The use of the stabilized method.

Example 2. Let $Q_T = \Omega \times (0, T)$, where Ω is a unit square as in Example 1, and $\Gamma_D = \Gamma_{D_0} \cup \Gamma_{D_1}$, $\Gamma_{D_0} = \{x \in \Gamma : x_2 = 0\}$, $\Gamma_{D_1} = \{x \in \Gamma : x_1 = 0 \text{ or } x_1 = 1\}$, and $\Gamma_N = \Gamma \setminus \Gamma_D$. In Q_T , consider the equation (13) with the parameters $T = 1$, $\vec{u} = (0.15, 1)$, $\gamma(s) \equiv 10^{-4}$, $\gamma_1(s) \equiv 0$, $f_w(s) = s$, and the initial and boundary conditions are as follows:

$$s(x, 0) = 0, \quad g_D(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Gamma_{D_1}, \\ 0, & x \in \Gamma_{D_0}, \end{cases} \quad g_N(x) = 0. \text{ In the computational experiment, three grid configurations}$$

were used, which contain 968, 3744 and 15110 elements. The value of the parameter τ is set to 10^{-2} . The calculations were performed until the time layer $n = 100$ was achieved, which corresponds to the time value $T = 1$. Obviously, the values of the exact solution are between 0.00 and 1.00. Implementation of (22) without the use of stabilization leads to the appearance of non-physical oscillations the absolute value of which is more than 60% (Table 1).

Table 1. Boundaries of the interval containing the values of the exact and approximate solutions

| NE | Exact bounds | | Without stabilization | | SUPG+ τ_c | | GLS+ τ_c | | USFEM+ τ_c | |
|-------|--------------|-------|-----------------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------|
| | lower | upper | lower | upper | lower | upper | lower | upper | lower | upper |
| 968 | 0.00 | 1.00 | -0.38 | 1.74 | -0.04 | 1.04 | -0.03 | 1.03 | -0.04 | 1.03 |
| 3774 | 0.00 | 1.00 | -0.30 | 1.32 | -0.03 | 1.02 | -0.02 | 1.01 | -0.03 | 1.01 |
| 15110 | 0.00 | 1.00 | -0.21 | 1.17 | -0.02 | 1.00 | -0.02 | 1.01 | 0.01 | 1.01 |

The upper row of Figure 2 shows an approximate solution without the use of stabilization at $t = t_{10}$, t_{50} , t_{100} , and in the lower row with the use of the SUPG method and the stabilization parameter τ_c . Table 1 illustrates the deviation dependence of the approximate solution on the exact bounds, depending on the choice of the stabilization method and the stabilizing parameters. Stabilization made it possible to reduce the deviation from the exact boundaries to less than 3% for all of the three methods considered.

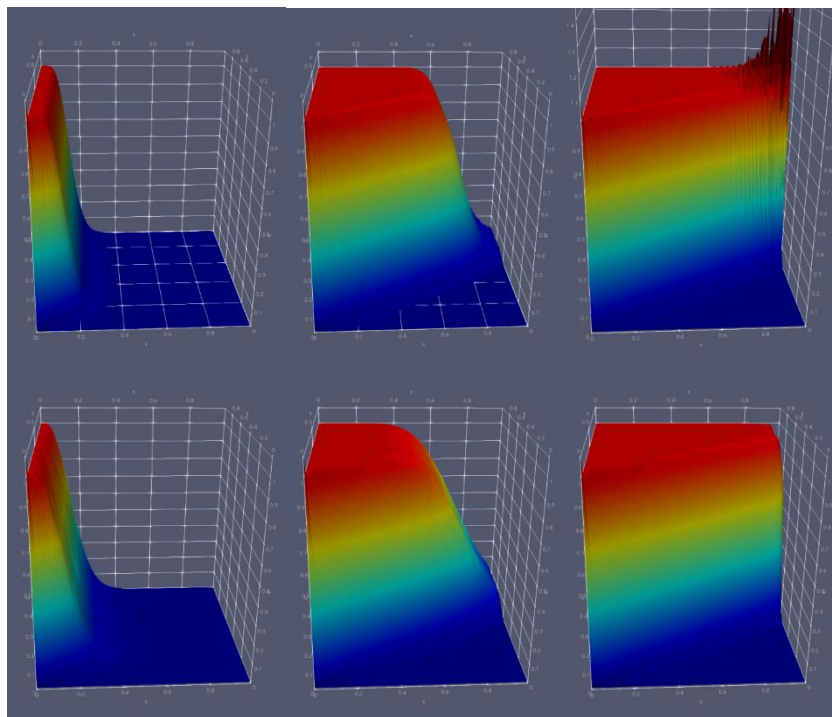


Figure 2. The approximate solution of the Example 2.

Example 3. In $Q_T = \Omega \times (0, T)$, where $\Omega = (-0.5, 0.5) \times (-0.5, 0.5)$ the problem (15), (19) with the parameters $\gamma(s) \equiv k_1 = 10^{-4}$, $\vec{u} = (1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$, $f_w(s) = s$, and the right-hand side

$$f(x, t) = -\frac{1}{\sqrt{2}\varepsilon} \phi^2(x, t, \varepsilon) + \frac{1}{2\varepsilon} \phi^2(x, t, \varepsilon) - \frac{1}{\varepsilon^2} k_1 \phi^2(x, t, \varepsilon) \tanh\left(\frac{x_1 + x_2 - t}{2\varepsilon}\right) - k_2 \left[\frac{1}{\varepsilon^3} \phi^2(x, t, \varepsilon) \tanh\left(\frac{x_1 + x_2 - t}{2\varepsilon}\right)^2 - \frac{1}{2\varepsilon^3} \phi^4(x, t, \varepsilon) \right]$$

is considered where $\phi(x, t, \varepsilon) = \text{sech}((x_1 + x_2 - t)/2\varepsilon)$, $\gamma_1(s) \equiv k_2 = \text{const}$, and $\varepsilon = 10^{-2}$. The exact solution of the problem is $s(x, t) = 0.5 - \tanh((x_1 + x_2 - t)/2\varepsilon)$.

In this computational experiment, the accuracy value was estimated in the L^2 -norm. Two values of the parameter τ equal to 1/30 and 1/60 are accepted. The grid configuration was chosen in the same way as in Example 2. To estimate the influence of the term with the third derivative of the solution, we considered two cases, $k_2 = 10^{-6}$ and $k_2 = 10^{-2}$. According to the results of numerical tests presented in Tables 2 and 3, SUPG was the most effective in the first case, and GLS and USFEM were in the second case.

Table 2. L^2 -errors of the approximate solution depending on the stabilization method and stabilizing parameters when $k_2 = 10^{-6}$

| Methods | N_e | $\tau = 1/30$ | | | | $\tau = 1/60$ | | | |
|-----------------------|-------|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| | | τ_K^c | τ_K^s | τ_K^a | τ_K^f | τ_K^c | τ_K^s | τ_K^a | τ_K^f |
| Without stabilization | 968 | 1.3052 | 1.2246 | 1.1218 | 1.1089 | 1.1473 | 1.0045 | 0.8286 | 1.0083 |
| | 3744 | 0.9934 | 0.9924 | 0.8214 | 1.0086 | 0.9645 | 0.8531 | 0.5425 | 0.8028 |
| | 15110 | 0.7911 | 0.8512 | 0.7457 | 0.7645 | 0.7654 | 0.7491 | 0.4289 | 0.6732 |
| SUPG | 968 | 0.0615 | 0.0717 | 0.0754 | 0.0718 | 0.0243 | 0.0283 | 0.0192 | 0.0185 |
| | 3744 | 0.0312 | 0.0499 | 0.0447 | 0.0413 | 0.0171 | 0.0089 | 0.0093 | 0.0090 |
| | 15110 | 0.0091 | 0.0248 | 0.0098 | 0.0200 | 0.0033 | 0.0045 | 0.0047 | 0.0043 |
| GLS | 968 | 0.0723 | 0.0792 | 0.0749 | 0.0721 | 0.0247 | 0.0285 | 0.0288 | 0.0287 |
| | 3744 | 0.0425 | 0.0447 | 0.0432 | 0.0496 | 0.0179 | 0.0089 | 0.0090 | 0.0093 |
| | 15110 | 0.0212 | 0.0219 | 0.0213 | 0.0236 | 0.0132 | 0.0041 | 0.0043 | 0.0041 |
| USFEM | 968 | 0.0547 | 0.0545 | 0.0557 | 0.0589 | 0.0076 | 0.0189 | 0.0191 | 0.0190 |
| | 3744 | 0.0346 | 0.0475 | 0.0345 | 0.0315 | 0.0527 | 0.0095 | 0.0096 | 0.0095 |
| | 15110 | 0.0129 | 0.0212 | 0.0237 | 0.0132 | 0.0497 | 0.0043 | 0.0042 | 0.0044 |

Table 3. L^2 -errors of the approximate solution depending on the stabilization method and stabilizing parameters when $k_2 = 10^{-2}$

| Methods | N_e | $\tau = 1/30$ | | | | $\tau = 1/60$ | | | |
|-----------------------|-------|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| | | τ_K^c | τ_K^s | τ_K^a | τ_K^f | τ_K^c | τ_K^s | τ_K^a | τ_K^f |
| Without stabilization | 968 | 1.2211 | 1.1835 | 1.0256 | 1.1164 | 1.2858 | 1.1764 | 1.2014 | 1.3875 |
| | 3744 | 0.6547 | 0.7436 | 0.9182 | 0.8384 | 1.0645 | 0.7621 | 0.8574 | 1.0064 |
| | 15110 | 0.4583 | 0.5487 | 0.6365 | 0.5912 | 0.6257 | 0.4471 | 0.6314 | 0.5947 |
| SUPG | 968 | 0.0689 | 0.0708 | 0.0658 | 0.0618 | 0.0296 | 0.0187 | 0.0214 | 0.0173 |
| | 3744 | 0.0252 | 0.0338 | 0.0228 | 0.0294 | 0.0131 | 0.0114 | 0.0112 | 0.0117 |
| | 15110 | 0.0128 | 0.0100 | 0.0111 | 0.0182 | 0.0068 | 0.0051 | 0.0054 | 0.0058 |
| GLS | 968 | 0.0558 | 0.0587 | 0.0587 | 0.0554 | 0.0141 | 0.0114 | 0.0047 | 0.0146 |
| | 3744 | 0.0268 | 0.0241 | 0.0248 | 0.0223 | 0.0054 | 0.0047 | 0.0075 | 0.0052 |
| | 15110 | 0.0193 | 0.0187 | 0.0158 | 0.0187 | 0.0021 | 0.0024 | 0.0036 | 0.0027 |
| USFEM | 968 | 0.0518 | 0.0514 | 0.0525 | 0.0582 | 0.0647 | 0.0141 | 0.0116 | 0.0112 |
| | 3744 | 0.0284 | 0.0251 | 0.0287 | 0.0237 | 0.0574 | 0.0051 | 0.0057 | 0.0053 |
| | 15110 | 0.0161 | 0.0163 | 0.0178 | 0.0187 | 0.0331 | 0.0029 | 0.0025 | 0.0021 |

5 Conclusion

Based on the results of the conducted studies, it can be concluded that the use of stabilization has significantly improved the qualitative pattern of the sought approximate solution. The presented numerical examples illustrate the effectiveness of the proposed approach to solving the saturation equation in the problem of two-phase non-equilibrium fluid flow problem.

In future works, the authors intend to strictly theoretically study the stability and convergence of the proposed numerical schemes. In addition, a separate work will be devoted to the study of the non-equilibrium effects within the framework of the considered model using more realistic data.

6 Acknowledgements

The work was supported by grant funding of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant No. AP08053189, 2020-2022.

References:

- 1 Amaziane B., Panfilov M., Pankratov L. (2016) Homogenized Model of Two-Phase Flow with Local Nonequilibrium in Double Porosity Media // *Advances in Mathematical Physics*, Vol. 2016 (3058710), 1-14. <https://doi.org/10.1155/2016/3058710>
- 2 Sukharev M. (2020) Fluid Mixing Nonequilibrium Processes in Industrial Piping Flows // *Energy*, Vol. 13 (6364), 1-18. <https://doi.org/10.3390/en13236364>
- 3 Hassanizadeh S.M. (2015) *Handbook of Porous Media* (edited by Kambiz Vafai). Florida, US: CRC Press, Chapter 2, 47-62.
- 4 Hassanizadeh S.M., Celia M.A., Dahle H.K. (2002) Dynamic Effects in the Capillary Pressure-Saturation Relationship and Its Impact on Unsaturated Flow // *Vadose Zone Journal*, Vol. 1 (1), 38–57. <http://dx.doi.org/10.24200/jams.vol7iss2pp69-71>
- 5 Zhuang L, Hassanizadeh S., Qin C, Wall A. (2017) Experimental Investigation of Hysteretic Dynamic Capillarity Effect in Unsaturated Flow // *Water Resources Research*, Vol. 53, 9078-9088 <https://doi.org/10.1002/2017WR020895>
- 6 Goel G., Abidoye L. K., Chahar B. R., Das D. B. (2016) Scale dependency of dynamic relative permeability saturation curves in relation with fluid viscosity and dynamic capillary pressure effect // *Environmental Fluid Mechanics*, Vol. 16, 945–963. <https://doi.org/10.1007/s10652-016-9459-y>
- 7 Tang M., Zhan H., Ma H., Lu S. (2018) Upscaling of Dynamic Capillary Pressure of Two-Phase Flow in Sandstone // *Water Resources Research*, Vol. 55 (1), 426-443. <https://doi.org/10.1029/2017WR022377>
- 8 Barenblatt G.I., Patzek T. W., Silin D. B. (2003) The Mathematical Model of Nonequilibrium Effects in Water-Oil Displacement // *SPE Journal*, Vol. 8 (4), 409-416. <https://doi.org/10.2118/87329-PA>
- 9 Juanes R. (2008) Non-equilibrium Effects in Models of Three-Phase Flow in Porous Media. // *Advances in Water Resources*, Vol. 31 (4), 661–673. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.12.005>
- 10 Ladubec C., Gracie R. (2016) Stabilized Finite Element Methods for Vertically Averaged Multiphase Flow for Carbon Sequestration // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 111 (8), 724-752. <https://doi.org/10.1002/nme.5480>
- 11 Roggendorf S. (2019) *Eliminating the Gibbs Phenomenon: The Non-linear Petrov-Galerkin Method for the Convection-diffusion-reaction Equation*. Nottingham, UK: University of Nottingham. <http://eprints.nottingham.ac.uk/59436/>
- 12 Baigereyev D. R., Temirbekov N. M., Omarieva D. A. (2020) Construction of an iterative method for solving nonlinear equation of elliptic type on the basis of the mixed finite element method. // *Bulletin of KazNU. Series mathematics, mechanics, computer science*, Vol. 106 (2), 104–120. <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2020.v106.i2.09>
- 13 Sendur A. (2018) A Comparative Study on Stabilized Finite Element Methods for the Convection-Diffusion-Reaction Problems // *Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2018, 4259634, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2018/4259634>

М.А. Бектемесов¹, С.И. Кабанихин^{2,3}, Е.Ж. Құрышбаев^{1*}

¹Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

*e-mail: yerke1984@gmail.com

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОСТНОЙ ЗАДАЧИ КОШИ В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ

Аннотация

В статье рассматривается возможность получения фрактальных изображений, которые формируются вычислением относительной погрешности различных конечно-разностных схем решения задачи Коши с помощью итерационных процессов. Построенный графический алгоритм позволил смоделировать изображение множества для изучения, например, для выявления областей устойчивости решения задачи. При рассмотрении связи фракталов с корректностью задач математической физики было выявлено, что при определенном цифровом кодировании распределение относительной погрешности дает причудливое повторяющееся изображение и самоподобие. Полученная модель позволяет определить характер изменений множества в зависимости от исходных параметров, таких как шаг, точность, границы комплексной плоскости. Приводится компьютерный графический анализ указанных явлений. Компьютер можно превратить в своеобразный микроскоп и наблюдать с его помощью за поведением границ области.

Ключевые слова: фракталы, дифференциальные уравнения, относительная погрешность, математическое моделирование, фрактальный алгоритм.

Аңдатпа

М.А. Бектемесов¹, С.И. Кабанихин^{2,3}, Е.Ж. Құрышбаев¹

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²РФА СБ Есептеу математикасы және математикалық геофизика институты, Новосибирск қ., Ресей

³Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск қ., Ресей

КОШИ АЙЫРЫМДЫҚ ЕСЕБІНІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҚ АЙМАҒЫН КОМПЛЕКС ЖАЗЫҚТЫҚТА БЕЙНЕЛЕУ

Мақалада итерациялық процестерді пайдалана отырып, Коши есебін шешуге арналған әр түрлі шекті-айырымдық сұлбаларының салыстырмалы қателігін есептеу арқылы қалыптасатын фракталдық кескіндерді алу мүмкіндігі қарастырылады. Құрылған графикалық алгоритм зерттеуге арналған жиынтық бейнесін имитациялауға, мысалы, есепті шешу үшін тұрақтылық аймақтарын анықтауға мүмкіндік берді. Фракталдардың байланысы мен математикалық физика есептерінің дұрыстығын қарастырған кезде белгілі бір цифрлық кодтау кезінде салыстырмалы қатенің таралуы таңқаларлық қайталанатын бейне мен өзіндік ұқсастық беретіні анықталды. Алынған модель қадам, дәлдік, күрделі жазықтықтың шекаралары сияқты бастапқы параметрлерге байланысты жиынтықтағы өзгерістердің сипатын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл құбылыстардың компьютерлік графикалық талдауы берілген. Компьютерді микроскоптың бір түріне айналдырып, оны аймақтың шекараларының мінез-құлқын бақылау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: фракталдар, дифференциалдық теңдеулер, салыстырмалы қателік, математикалық модельдеу, фракталдық алгоритм.

Abstract

VISUALIZATION OF THE STABILITY AREA OF THE CAUCHY DIFFERENCE PROBLEM IN THE COMPLEX PLANE

Bektemessov M.A.¹, Kabanikhin S.I.^{2,3}, Kuryshbayev YE.ZH.¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

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

³Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The article considers the possibility of obtaining fractal images, which forms by calculating the relative error of various finite-difference schemes for solving the Cauchy problem using iterative processes. The constructed graphical algorithm

made it possible to simulate the image of the set for study, for example, to identify areas of stability for solving the problem. When considering the connection between fractals and the correctness of problems of mathematical physics, the authors found that, with a certain digital coding, the distribution of the relative error gives a bizarre repetitive image and self-similarity. The resulting model allows you to determine the nature of the changes in the set depending on the initial parameters, such as step, accuracy, boundaries of the complex plane. A computer graphical analysis of these phenomena is given. The computer can be turned into a kind of microscope and use it to observe the behavior of the boundaries of the region.

Keywords: fractals, differential equations, approximation error, mathematical modeling, fractal algorithm.

Введение

Слово «фрактал» было придумано Бенуа Мандельбротом, это латинское слово fractus, от которого произошли слова – дробленный, сломанный, разбитый. К концепции фрактала можно подходить с разных точек зрения, однако общепринято считать, что фрактал – это геометрический объект, состоящий из элементов, таких же геометрических, переменного размера и ориентации, но похожих по внешнему виду. Особенность многих фрактальных объектов заключается в том, что если увеличивать фрактальный объект, элементы, которые появляются снова, будут иметь тот же вид независимо от масштаба, который был использован. Тот факт, что каждый элемент более высокого порядка, в свою очередь, состоит из элементов более низкого порядка, как это происходит с ветвями дерева, является тем, что придает фракталам рекурсивную структуру. Поэтому для графического представления фрактала необходимо найти связь или закон рекурсии между повторяющимися формами, то есть найти элементарный объект и закон их образования, а затем установить графический алгоритм [1].

Фрактальные объекты обладают двумя фундаментальными характеристиками: самоподобие и фрактальная размерность. Если теоретическая фрактальная размерность множества превышает топологическую размерность, то считают, что множество имеет фрактальную геометрию [2].

Фрактальные объекты существовали задолго до формального развития фрактальной геометрии. Фактически, фигуры с фрактальными характеристиками, такие как треугольник Серпинского, можно увидеть на очень старых гравюрах на ткани – это японские гравюры средних веков с аналогичными структурами [3].

В этом исследовании изучается графическое представление фрактала, который формируется с помощью вычисления относительной погрешности. Относительная погрешность решения задачи Коши получена с использованием дифференциальных и интегральных исчислений. Цель состоит в том, чтобы установить графический алгоритм для данного фрактального множества в виде наглядной блок-схемы и смоделировать изображение множества для изучения. Для удобства визуализации моделирования данный алгоритм переводится в программное обеспечение. Моделирование показывает, что параметры, такие как шаг, точность, границы комплексной плоскости могут влиять на области устойчивости.

Методология исследования

Устойчивость и сходимост. Почти все научные закономерности описываются с помощью определенного набора математических функций и математических отношений, и при изучении природных явлений их можно представить в виде моделей, описанных при помощи компьютеров. Например, если рассмотреть множества Мандельброта и Жюлиа на комплексной плоскости, то после многократного применения определенных математических операций, числа, лежащие за пределами этих множеств, стремятся к бесконечности. А числа, находящиеся в пределах множеств, могут совершать колебательные движения. Область, где появляется неустойчивость, смещается к границе множества и ее траектория вырисовывается особым образом, и как раз здесь появляются удивительно сложные и красивые формы с бесконечной регрессией (в отличие от чисто функциональной зависимости $y = f(x)$, когда каждому значению независимой переменной x соответствует одно определенное значение величины y , при регрессионной связи одному и тому же значению x могут соответствовать в зависимости от случая различные значения величины y).

Используя компьютер как «микроскоп» можно наблюдать за движением границ данной области. Теоретически можно увеличить любую область множества, и заключить, что множество имеет фрактальную структуру. Такие математические эксперименты, выполненные на компьютере, порождают новые идеи, которые в последующем должны быть доказаны традиционными математическими методами.

Еще в 1980-х годах А.Л. Бухгеймом и М.А. Бектемесовым была выявлена возможность получения фрактальных изображений из дифференциальных уравнений при изучении устойчивости их решений и сходимости разностных схем с помощью итерационных процессов [4]. Авторы рассматривали задачу Коши

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \lambda u, t \in (0, T) \\ u(0) = 1, \lambda = x + iy \end{cases} \quad (1)$$

а именно на комплексной плоскости отображали относительную погрешность между прямым решением задачи Коши и ее разностным решением, в результате были выявлены фрактальные свойства.

Одна из распространенных задач численного анализа – попытаться выбрать надежные алгоритмы, то есть не дать сильно отличающийся результат при очень небольшом изменении входных данных. Под сходимостью численного решения понимают его сходимость к точному решению при уменьшении шага сетки. Если выполнены как условие аппроксимации, так и условие устойчивости, то результат разностной схемы сходится к решению дифференциального уравнения (теорема об эквивалентности Лакса).

Итерационные процессы. Как было рассмотрено ранее многие фракталы формируются в результате повторяющихся действий, то есть итераций. Результат предыдущей итерации, как правило, служит начальным значением для текущей итерации. Однако природные итерационные процессы от математических отличаются многообразием случайных параметров и форм, например, снежинка Коха строится с помощью деления отрезка на строго четыре «подотрезка», а природная снежинка будет иметь разнообразную форму в зависимости от таких внешних факторов, как температура, вес капель и так далее.

Представители одного из типов фракталов – алгебраические фракталы строятся с помощью итерационной формулы:

$$z_{n+1} = f(z_n)$$

Здесь z – комплексное число, f – определённая функция. Вычисления по данной функции будут продолжаться до выполнения некоего условия. Когда выполнится условие, на холст экрана наносится точка, таким образом сформируется изображение фрактала. На комплексной плоскости функция может принимать следующие значения [4]:

- 1) со временем стремится к бесконечности;
- 2) стремится к нулю;
- 3) не выходит из области определенных значений;
- 4) будет в хаотическом состоянии.

Задача Коши для дифференциального уравнения 1-го порядка. Точное решение задачи Коши (1) имеет вид:

$$u(t) = e^{\lambda t}, t \in (0, T) \quad (2)$$

Разностное решение задачи Коши [5]:

$$u_j = (1 + \tau\lambda)^j, \tau = T/N \quad (3)$$

здесь $j = 0, \dots, N$.

Нетрудно вычислить относительную погрешность данных решений задачи Коши:

$$P = \frac{\sqrt{[(1 + \tau a)^2 + (\tau b)^2]^N + e^{2N\tau a} - 2[(1 + \tau a)^2 + (\tau b)^2]^{\frac{N}{2}} e^{N\tau a} \cos\left(N\left(\arctg \frac{\tau b}{1 + \tau a} - \tau b\right)\right)}}{e^{N\tau a}} \quad (4)$$

Результаты исследования

Определим алгоритм построения множества по формуле относительной погрешности (4). Допустим, что холст на мониторе, куда будет выводиться изображение, имеет разрешение $A \times B$. Количество цветов в гамме равно $k + 1$, то есть каждая точка на холсте в зависимости от значения относительной погрешности будет раскрашена в один из цветов в интервале от 0 до k (0 – соответствует черному цвету). Вводится шкала разделения для значений относительной погрешности с точностью шага $\varepsilon = 0,1$, каждому вычисленному p ставим в соответствие из спектра, состоящего из 16-ти цветов.

Ниже на рисунке 1 приведена блок-схема по построению фрактального множества, вычисляющая относительную погрешность решений соответствующей задачи Коши.

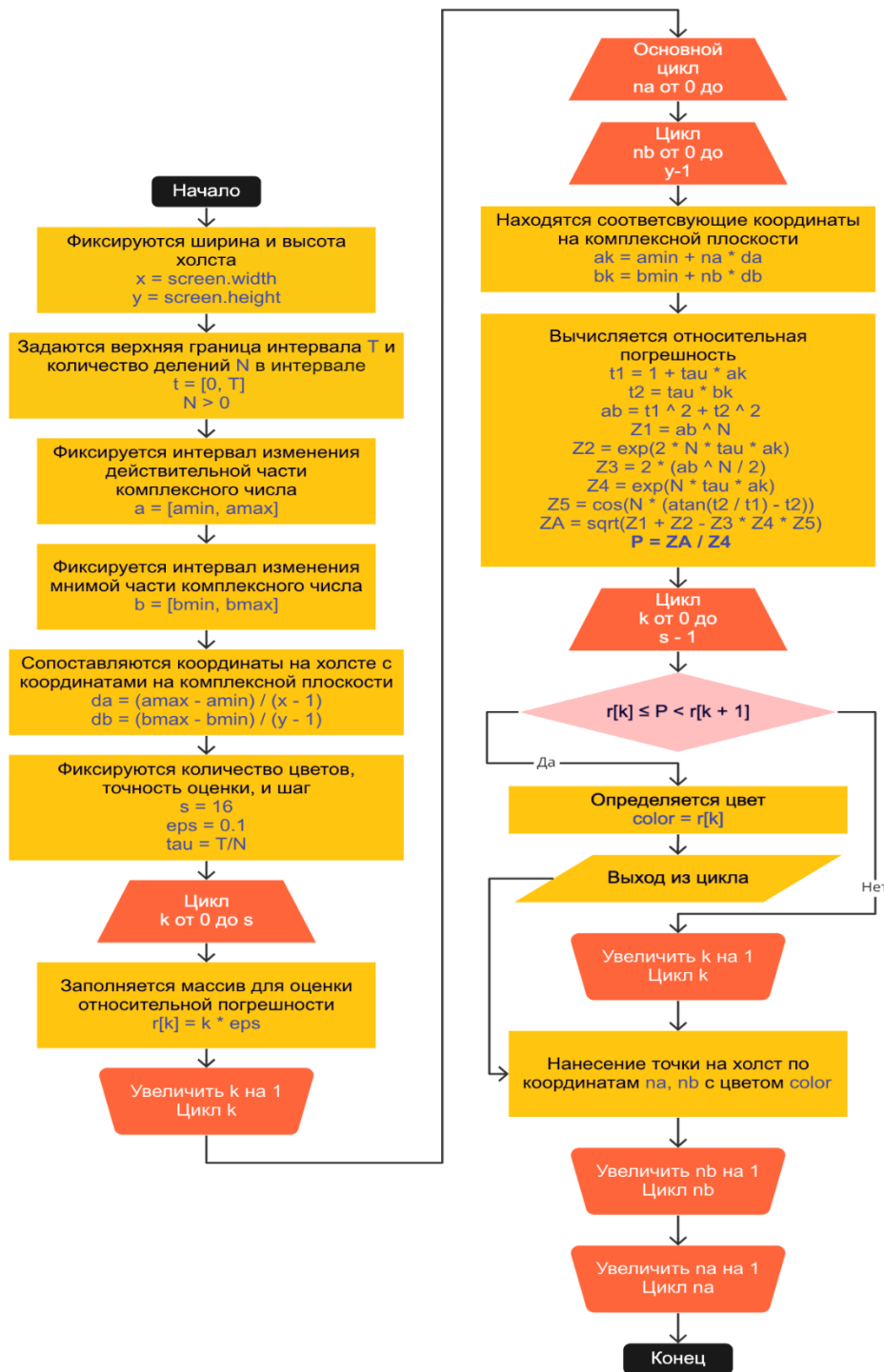


Рисунок 1. Блок-схема для получения изображения с помощью вычисления

Таким образом, после проведения несложных вычислений получены на комплексной плоскости цветные изображения, где можно увидеть некоторые свойства фрактального множества. Программа, написанная на языках Golang и ReactJS, позволяет изучить и исследовать на компьютере данное множество с разных масштабов, также есть возможность задания параметров, таких как шаг, точность, границы плоскости и т.д., см. рисунок 2. Имеется градация цветов, а также отображаются текущие координаты указателя.

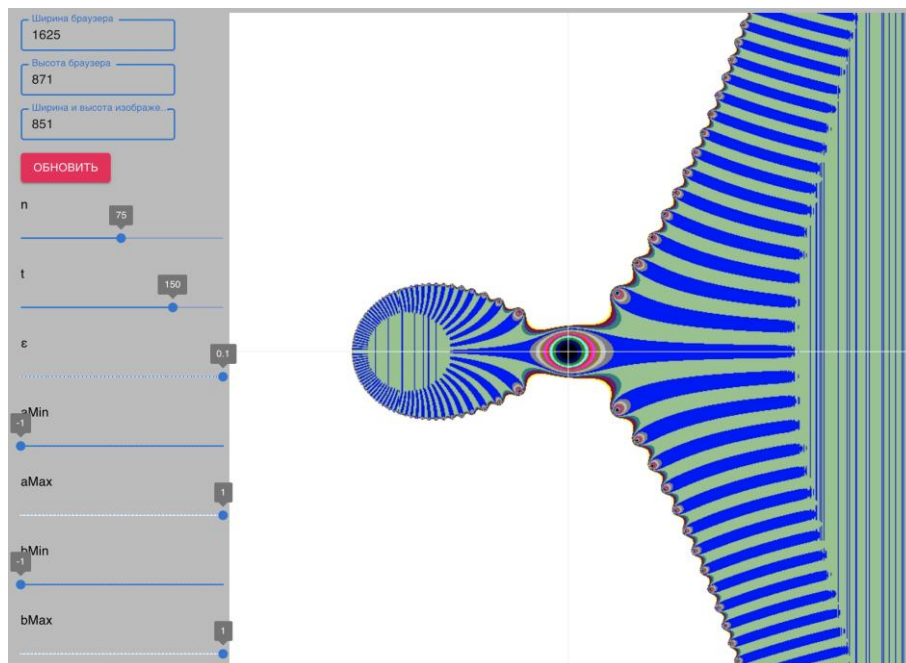


Рисунок 2. Интерфейс программы

Дискуссия

Увеличивая полученное изображение на разных областях, можно разглядеть самоподобие, также видны области устойчивости и сходимости (они раскрашены в черный цвет, на рисунках 3, 4, 5, 6).

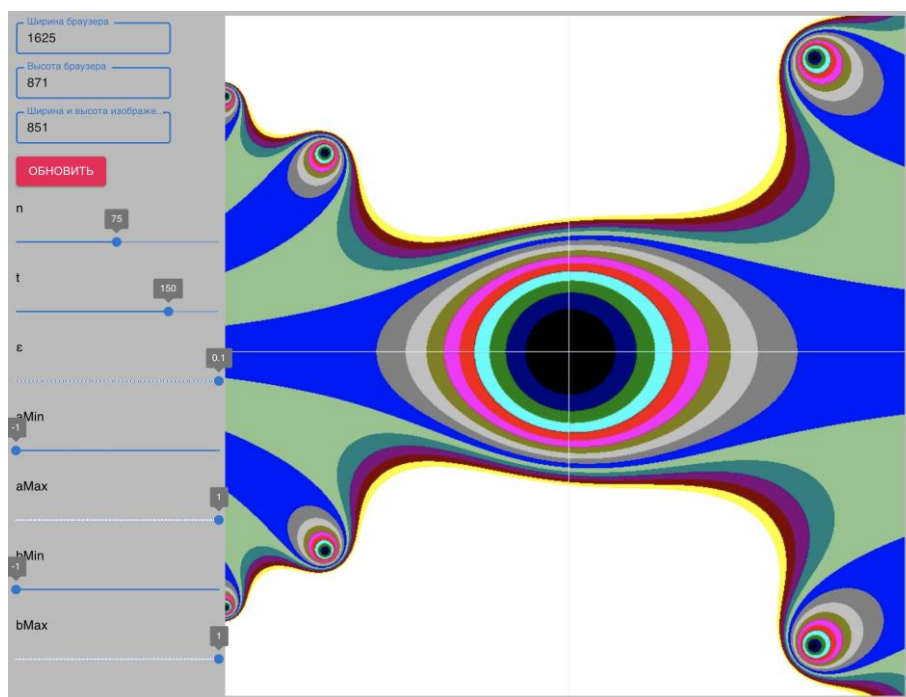


Рисунок 3. Области устойчивости в увеличенном масштабе

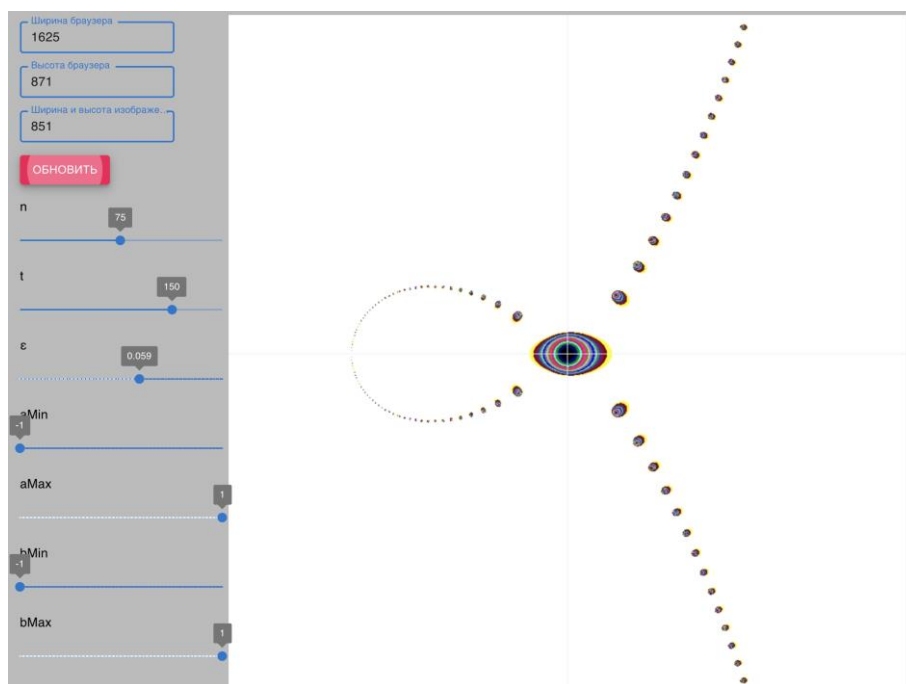


Рисунок 4. Самоподобие на границах

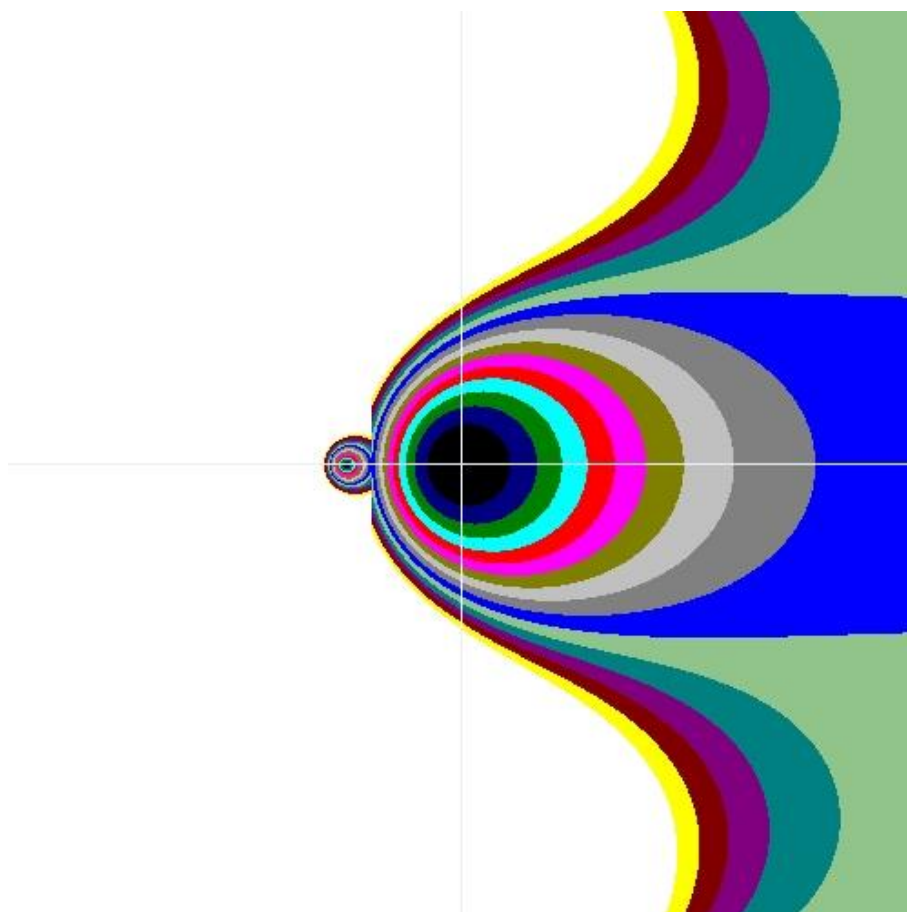


Рисунок 5. Самоподобие на вершинах

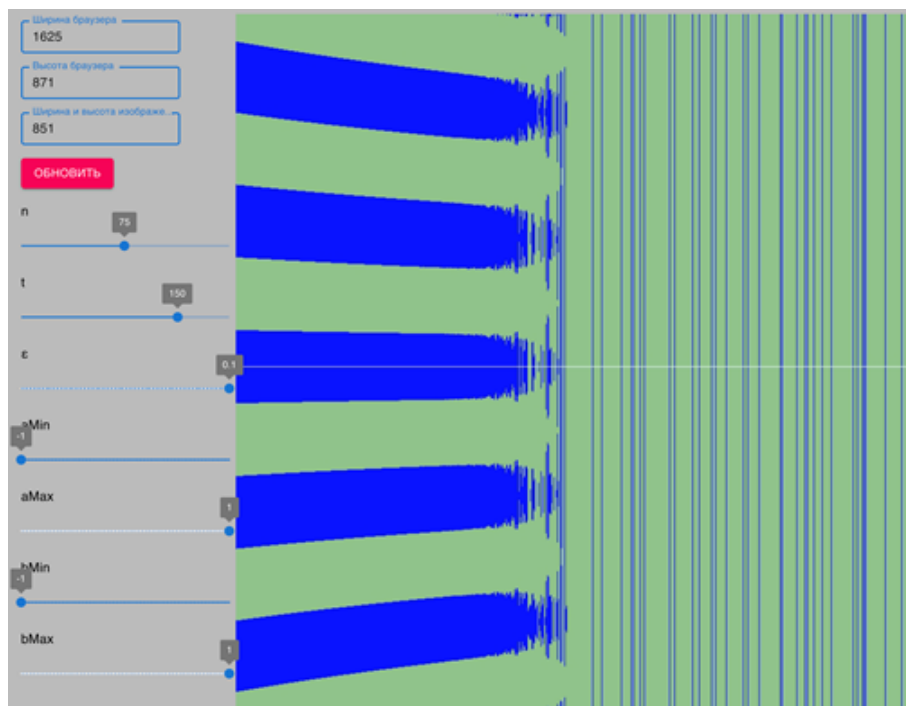


Рисунок 6. Продолжение самоподобия по горизонтали

Изучение и происхождение различных явлений, которые объясняются фрактальными моделями, соответствуют определению тех научных дисциплин, где они и рассматриваются [6]. Фракталы, с самого начала их формулировки, имели практическое призвание служить моделями для объяснения природы [7, 8, 9]. Например, когда идея, лежащая в основе построения множества Кантора, расширяется до трех измерений, сформированный образец удивительно похож на распределение звезд и галактик во Вселенной [10].

Заключение

В этом исследовании была представлена графическая модель фрактала, который формируется вычислением относительной погрешности различных конечно-разностных схем решения задачи Коши. Построенный графический алгоритм позволил смоделировать изображение множества для изучения, например, для выявления областей устойчивости решения задачи, а также самоподобия в разных масштабах. Самоподобие особенно заметно при увеличении фрактала, например, оно видно даже при 50-ти кратном зуме.

Список использованных источников:

- 1 Mandelbrot B. How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*, vol. 156, 1967, pp. 636–638.
- 2 Mandelbrot B. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and co., San Francisco, 1982. P. 15.
- 3 Fujii K. Kimono Patterns – 15Uroko (Scales): A pattern seen worldwide since ancient times. *Kateigaho International Japan Edition – Japanese culture, arts, lifestyle magazine*, 2020, <https://int.kateigaho.com/articles/tradition/patterns-15/>.
- 4 Бектемесов М.А. Фракталдар. Орнықтылық және жинақтылық. Алматы, ҚазНПУ им. Абая 2010 г. с. 36, с. 51.
- 5 Рябенский В.С., Филиппов А. Ф. Об устойчивости разностных уравнений. М., Гостехиздат, 1956. с. 1045 - 1048.
- 6 Barnsley M., Hawley R. *Fractals Everywhere*. Elsevier Science, 1993. с. 330-378.
- 7 Зеликин М. И. Фрактальная теория кольца Сатурна. Труды математического института им. Стеклова. *Steklov Mathematical Institute*, 2015. <https://doi.org/10.1134/s0371968515040093>. с. 87-101.
- 8 Hastings H., Kissell R. IS THE NILE OUTFLOW FRACTAL? HURST'S ANALYSIS REVISITED. *Natural Resource Modeling*. Wiley, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.1998.tb00301.x>.
- 9 Timkov V., Timkov S., Zhukov V. FRACTAL STRUCTURE OF THE UNIVERSE. *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365. 54, 2016.

10 Mahecha D.S. *Evolution through the Stochastic Dyadic Cantor Set: The Uniqueness of Mankind in the Universe*. International Journal of Astrobiology. Cambridge University Press (CUP), 2015. <https://doi.org/10.1017/s1473550415000415>.

References:

- 1 Mandelbrot B. *How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension*. Science, vol. 156, 1967, pp. 636–638.
- 2 Mandelbrot B. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and co., San Francisco, 1982. p 15
- 3 Fujii K. *Kimono Patterns – 15Uroko (Scales): A pattern seen worldwide since ancient times*. Kateigaho International Japan Edition – Japanese culture, arts, lifestyle magazine, 2020, <https://int.kateigaho.com/articles/tradition/patterns-15/>.
- 4 Bektemesov M.A. *Fraktaldar*. (2010) *Ornyktylyk zhane zhinaktylyk [Fractals. Stability and compactness]*. Almaty, KazNPU Abai, p. 36, p. 51.
- 5 Ryabenskii V.S., Filippov A.F. (1956) *Ob ustojchivosti raznostnyh uravnenij [On the stability of difference equations]*. M., Gostekhizdat, 1956. p. 1045 - 1048.
- 6 Barnsley M., Hawley R. *Fractals Everywhere*. Elsevier Science, 1993. p. 330-378.
- 7 Zelikin M.I. *Fraktal'naja teorija kol'ca Saturna [Fractal theory of the ring of Saturn]*. Steklov Mathematical Institute, 2015. <https://doi.org/10.1134/s0371968515040093>. p. 87-101.
- 8 Hastings H., Kissell R. *IS THE NILE OUTFLOW FRACTAL? HURST'S ANALYSIS REVISITED*. Natural Resource Modeling. Wiley, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.1998.tb00301.x>.
- 9 Timkov V., Timkov S., Zhukov V. *FRactal STRUCTURE OF THE UNIVERSE*. International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365. 54, 2016.
- 10 Mahecha D.S. *Evolution through the Stochastic Dyadic Cantor Set: The Uniqueness of Mankind in the Universe*. International Journal of Astrobiology. Cambridge University Press (CUP), 2015. <https://doi.org/10.1017/s1473550415000415>.

METHODS OF FINDING DIFFUSION AND THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENTS OF HEAT AND MASS TRANSFER

Rysbaiuly B.¹, Karashbayeva Zh.O.^{2,3*}

¹International IT University, Almaty, Kazakhstan

²Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

*e-mail: karashbayeva.zhanat@gmail.com

Abstract

This manuscript is devoted to the development of methods for finding the diffusion coefficient of soil moisture and the thermal conductivity coefficient of soil by using the system of Lykov's equations for heat and mass transfer in the soil. The conjugate system of partial differential equations is constructed by using the direct initial-boundary value problem and additional boundary conditions on the accessible boundary of the region. Iterative formulas for finding the diffusion coefficient of soil moisture and the thermal conductivity coefficient are derived from the minimization of specially constructed functional and solution of direct and conjugate problems. The direct and conjugate problems are discretized by the Dufort-Frankel Difference scheme. An algorithm for solving the coefficient-inverse problem is developed and the program is designed in Matlab software package. Numerical calculations are conducted in order to verify the convergence of iterative processes.

Keywords: inverse problems, heat and mass transfer, conjugate problem, diffusion coefficient, thermal conductivity coefficient.

Аңдатпа

Б. Рысбайұлы¹, Ж.О. Карашибаева^{2,3}

¹Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Астана ИТ Университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

ЖЫЛУ ЖӘНЕ ЫЛҒАЛ ТАСЫМАЛЫНЫҢ ДИФFUЗИЯ ЖӘНЕ ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІК КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН ТАБУ ТӘСІЛДЕРІ

Бұл мақалада Лыков теңдеулер жүйесімен берілген топырақтағы жылу және ылғал тасымалының диффузиялық коэффициенті мен жылу өткізгіштік коэффициентін табу әдістері қарастырылады. Бастапқы-шектік тура есеп және қолжетімді шекарада алынған қосымша шекаралық шарттар көмегімен түйіндес есеп құрастырылады. Топырақ ылғалдылығының диффузиялық коэффициенті және жылу өткізгіштік коэффициентін табудың итерациялық формулалары арнайы құрастырылған функционалды минимумға келтіре отырып және тура және қосымша есептерді шешу арқылы алынды. Тура және қосымша есеп Дюфорт-Франкель әдісімен шешілді. Коэффициенттік кері есепті шешу алгоритмі жасалып, Matlab бағдарламалық пакетінде программа жазылды. Итерациялық процестердің жинақтылығын тексеру үшін сандық есептеулер жүргізілді.

Түйін сөздер: кері есептер, жылу және ылғал тасымалы, түйіндес есеп, диффузия коэффициенті, жылу өткізгіштік коэффициенті.

Аннотация

Б. Рысбайұлы¹, Ж.О. Карашибаева^{2,3}

¹Международный Университет Информационных Технологий, г. Алматы, Казахстан

²Астана ИТ Университет, Нур-Султан, Казахстан

³Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

МЕТОДЫ НАХОЖДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФFUЗИИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Данная статья посвящена разработке методов нахождения коэффициента диффузии почвенной влаги и коэффициента теплопроводности почвы с использованием системы уравнений Лыкова для теплопереноса в почве. С помощью прямой начально-краевой задачи и дополнительных краевых условий на доступной границе строится сопряженная задача. Получены итерационные формулы нахождения коэффициента диффузии почвенной влаги и коэффициента теплопроводности путем минимизации специально построенного функционала

и решения прямой и сопряженной задачи. Прямая и сопряженная задача дискретизируется методом Дюфорта-Франкеля. Разработан алгоритм решения коэффициентно-обратной задачи и написана программа в пакете программ Matlab. Для проверки сходимости итерационных процессов проводятся численные расчеты.

Ключевые слова: обратные задачи, тепломассообмен, сопряженная задача, коэффициент диффузии, коэффициент теплопроводности.

1 Introduction

The number of new porous materials in construction keeps increasing. Therefore, we have chosen the transfer of moisture and heat in a porous medium. The object of research is porous materials, while the subject of research is a system of nonlinear differential equations with partial derivatives. The moisture-conducting and heat-conducting characteristics of new materials are usually unknown. In this regard, the development of methods for finding material parameters becomes a relevant task. Therefore, we aim to develop approximate methods for finding the above parameters. The purpose of research is to generate new methods for calculating the moisture-conducting characteristics of material. The research methodology is the method of mathematical modeling.

Moisture is a key factor in the durability and performance of buildings. Excessive levels reduce structural quality, affect interior air quality, heating comfort, along with energy efficiency in a building [1]. As a result, several models have been proposed by many scientists to forecast the influence of moisture on the energy performance of buildings. The main overview on this topic is given in the work [2]. From the physical point of view, the transport of air through porous construction medium has a decisive influence on the amount of moisture. Various studies emphasize these effects using experimental and numerical results [3] - [4]. A number of numerical models are studied in order to forecast the physical phenomena of conjugate transfer of heat, moisture and air through porous materials of building. Physical concepts of the study are based on conservation laws of mass for dry air, steam and liquid water, in addition to it on the conservation law of energy, which was described in detail in an early work of Lykov [5]. As a succession of the work, numerical models presented in later studies can be splitted into two major groups. The first group considers three evolutionary differential equations for calculating temperature, mass content, and air pressure in a porous medium. Papers [6] - [7] propose a model that investigates transfer through hollow porous blocks. It is based on an implicit finite difference numeric scheme. Just recently, commercial COMSOLTM software has been used to research a numerical model for this kind of physical problems [8]. The authors of this work specify the scheme that is based on a time-explicit finite element approach. The main drawback of these numerical models is on their computational costs. The implicit scheme requires costly sub-iterations at each period of time to deal with severe nonlinearities of the problem. An explicit approach needs very delicate time steps to satisfy the Courant-Friedrichs-Levy (CFL) stability conditions. And, the characteristic time of air transfer is very short in comparison with time for heat and mass transfer.

The substance associated with the capillary-porous body in the region of positive temperatures can be in the form of liquid, vapor and inert gas; at negative temperatures - in the form of ice, subcooled liquid, vapor and gas. Depending on the type of relation between moisture and body, the freezing temperature of liquid will vary within wide ranges. Therefore, there is always a certain amount of subcooled liquid in capillary-porous bodies at negative temperatures with different forms of moisture bonding [9, 10].

The second specific feature of mass and heat transfer in capillary-porous bodies is the partial filling of pores and capillaries with moisture. That is, part of the capillaries is filled with liquid and ice, and the rest is filled with a vapor-gas mixture. The amount of moisture changes in the process of mass and heat transfer for both states [11]. Therefore, when deriving transfer equations, it is necessary to take into account the change in the concentration of moisture in capillaries of the body. Methods for solving inverse problems are studied in [12, 13]. Kabanikhin S. I. et al [13] investigated the mass transfer in liquid, which is governed by the equation with liquid diffusion coefficient depended on the concentration. Numerical algorithm for solving direct and inverse problems is presented.

2 Mathematical model

The mathematical model of interrelated heat and mass transfer in one-dimensional case is written in the form of system of Lykov's differential equations [5]:

$$C_q \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_q \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \varepsilon r \frac{\partial W}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial W}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right), \quad (2)$$

where θ and W are functions that characterize the change in temperature and mass transfer potential, respectively, x is the thickness of the layer, t is the time, D_w is diffusion coefficient, D_θ is thermal diffusion coefficient, C_q is the heat capacity, ρ is the density, k_q is the thermal conductivity coefficient, ε is the ratio of vapor diffusion coefficient to the coefficient of total moisture diffusion, and $r = \lambda \rho C_m$, where λ is the heat of phase change, C_m is the moisture capacity.

Boundary conditions of the third kind for possible real situations on the earth's surface are revealed as:

$$k_q \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=H} = -\alpha_q (\theta - \theta_a(t)) \Big|_{x=H} - (1 - \varepsilon) r \alpha'_m (W - W_a(t)) \Big|_{x=H}, \quad (3)$$

$$\left(D_w \frac{\partial W}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \Big|_{x=H} = -\alpha'_m (W - W_a(t)) \Big|_{x=H}, \quad (4)$$

where α_q is the convective heat transfer coefficient, θ_a is the air temperature, W_a is the air moisture potential, and $\alpha'_m = \frac{\alpha_m}{\rho C_m}$, where α_m is the convective mass transfer coefficient.

Boundary conditions at the lower boundary of the region are:

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial W(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0. \quad (5)$$

The following initial conditions are set:

$$\theta(x,t) \Big|_{t=0} = T_0, \quad W(x,t) \Big|_{t=0} = W_0, \quad (6)$$

where T_0 is the initial temperature, W_0 is the initial moisture potential.

In addition, measured values of temperature and moisture potential $T_g(t)$, $W_g(t)$ on the earth's surface are given. It is required to find the distribution of heat and moisture, the thermal conductivity coefficient k_q and the diffusion coefficient D_w . The inverse problem is solved in the area $Q = (0, H) \times (0, t_{\max})$.

2.1 System of equations in dimensionless variables

After converting the original system of differential equations (1) – (6) to the dimensionless form we obtain:

$$\frac{\partial T(x^*, t^*)}{\partial t^*} = k_q^* F_{11} \frac{\partial^2 T(x^*, t^*)}{\partial x^{*2}} + F_{12} \varepsilon \frac{\partial U(x^*, t^*)}{\partial t^*}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial U(x^*, t^*)}{\partial t^*} = D_w^* F_{21} \frac{\partial^2 T(x^*, t^*)}{\partial x^{*2}} + D_w^* F_{22} \frac{\partial^2 U(x^*, t^*)}{\partial x^{*2}}, \quad (8)$$

$$k_q^* F_{11} \frac{\partial T(1, t^*)}{\partial x^*} = -F_{oq1} (T(1, t^*) - T_a(t^*)) - (1 - \varepsilon) F_{oq2} (U(1, t^*) - U_a(t^*)), \quad (9)$$

$$D_w^* F_{22} \frac{\partial U(1, t^*)}{\partial x^*} + D_w^* F_{21} \frac{\partial T(1, t^*)}{\partial x^*} = -F_{om} (U(1, t^*) - U_a(t^*)), \quad (10)$$

$$\frac{\partial T(0, t^*)}{\partial x^*} \Big|_{x^*=0} = 0, \quad \frac{\partial U(0, t^*)}{\partial x^*} \Big|_{x^*=0} = 0, \quad (11)$$

$$T(x^*, 0) = 1, \quad U(x^*, 0) = 1, \quad (12)$$

where

$$t^* = \frac{t}{t_{\max}}, \quad x^* = \frac{x}{H}, \quad T = \frac{\theta}{T_0}, \quad U = \frac{W}{W_0}, \quad D_w^* = \frac{D_w}{D_{w0}},$$

$$F_{11} = \frac{k_q t_{\max}}{C_q \rho H^2}, \quad F_{12} = \frac{r W_0}{C_q \rho T_0}, \quad F_{21} = \frac{D_{w0} \delta T_0 t_{\max}}{W_0 H^2}, \quad F_{22} = \frac{D_{w0} t_{\max}}{H^2},$$

$$F_{oq1} = \frac{\alpha_q t_{\max}}{\rho C_q H}, \quad F_{oq2} = \frac{\alpha_m \lambda W_0 t_{\max}}{\rho C_q T_0 H}, \quad F_{om} = \frac{\alpha_m t_{\max}}{\rho C_m H}.$$

2.2 Construction of conjugate problem

The measured values of temperature and moisture in dimensionless form are written in the following form:

$$U_g^*(t) = \frac{W_g(t)}{W_0}, \quad T_g^*(t) = \frac{T_g(t)}{T_0},$$

where W_0 and T_0 are taken from the initial condition.

Using the system (7) - (12), it is required to determine $T(x, t), U(x, t), D_w, k_q$.

From this point on, $U_g^*(t)$ and $T_g^*(t)$ will be denoted as $U_g(t)$ and $T_g(t)$.

The problem is solved by an iterative method. Firstly, the initial approximations $D_w(n)$ and $k_q(n)$, when $n = 0$, are given and the next approximations are determined from the monotony of the functional

$$J(D_w, k_q) = \int_0^1 (T(1, t) - T_g(t))^2 dt + \int_0^1 (U(1, t) - U_g(t))^2 dt. \quad (13)$$

The corresponding solutions of the problem (7) - (12) for $D_w(n), k_q(n)$ and $D_w(n+1), k_q(n+1)$ are denoted as

$$T(x, t; n) = T_n(x, t), \quad U(x, t; n) = U_n(x, t),$$

$$T(x, t; n+1) = T_{n+1}(x, t), \quad U(x, t; n+1) = U_{n+1}(x, t).$$

Hence for functions

$$\Delta T(x, t) = T_{n+1}(x, t) - T_n(x, t), \quad \Delta U(x, t) = U_{n+1}(x, t) - U_n(x, t),$$

the following equalities are derived:

$$\frac{\partial \Delta T(x, t)}{\partial t} = k_q F_{11} \frac{\partial^2 \Delta T(x, t)}{\partial x^2} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial^2 \Delta T(x, t)}{\partial x^2} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + F_{12} \varepsilon \frac{\partial \Delta U(x, t)}{\partial t}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Delta U(x, t)}{\partial t} = D_w F_{21} \frac{\partial^2 \Delta T(x, t)}{\partial x^2} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial^2 \Delta T(x, t)}{\partial x^2} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} +$$

$$+ D_w F_{22} \frac{\partial^2 \Delta U(x, t)}{\partial x^2} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial^2 \Delta U(x, t)}{\partial x^2} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial^2 U(x, t)}{\partial x^2}, \quad (15)$$

$$k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T(1, t)}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T(1, t)}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial T(1, t)}{\partial x} = -F_{oq1} \Delta T(1, t) - (1 - \varepsilon) F_{oq2} \Delta U(1, t), \quad (16)$$

$$D_w F_{21} \frac{\partial \Delta T(x, t)}{\partial x} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial \Delta T(x, t)}{\partial x} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} +$$

$$+ D_w F_{22} \frac{\partial \Delta U(x, t)}{\partial x} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial \Delta U(x, t)}{\partial x} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial U(x, t)}{\partial x} = -F_{om} \Delta U(1, t), \quad (17)$$

$$\left. \frac{\partial \Delta T(0, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Delta U(0, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad (18)$$

$$\Delta T(x, 0) = 0, \quad \Delta U(x, 0) = 0. \quad (19)$$

Multiply (14) by an arbitrary function $\psi(x, t)$ and integrate over the entire domain $Q = (0,1) \times (0,1)$. After a single integration by parts over x and t , the next equality is obtained:

$$\begin{aligned} (\Delta T, \psi)_{t=0}^{t=1} - \left(\Delta T, \frac{\partial \psi}{\partial t} \right) &= \left(k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial T}{\partial x}, \psi \right) \Big|_{x=0}^{x=1} - \\ &- \left(k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta k_q F_{11} \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + (\varepsilon F_{12} \Delta U, \psi)_{t=0}^{t=1} - \left(\varepsilon F_{12} \Delta U, \frac{\partial \psi}{\partial t} \right). \end{aligned} \quad (20)$$

We introduce the following notations:

$$(f, g) = \int_0^1 dt \int_0^1 f(x, t) g(x, t) dx,$$

$$(f, g)_{|_{x=1}} = \int_0^1 f(1, t) g(1, t) dt,$$

$$(f, g)_{|_{t=1}} = \int_0^1 f(x, 1) g(x, 1) dx.$$

Assume that $\psi(x, 1) = 0, \frac{\partial \psi(0, t)}{\partial x} = 0$. Taking into account the initial-boundary conditions (12), (11),

(9) and (18), we apply differentiation by parts over the variable x to the fourth term of the right-hand side of equality (20) and deduce that,

$$\begin{aligned} - \left(\Delta T, \frac{\partial \psi}{\partial t} \right) &= - \left(\Delta T, F_{oq1} \psi \right)_{|_{x=1}} - \left(\Delta U, (1 - \varepsilon) F_{oq2} \psi \right)_{|_{x=1}} - \left(\Delta T, k_q F_{11} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} - \\ &- \left(\Delta k_q F_{11} \frac{\partial T_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \left(\Delta T, k_q F_{11} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right) - \left(\varepsilon F_{12} \Delta U, \frac{\partial \psi}{\partial t} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Now, we multiply (15) by an arbitrary function $\eta(x, t)$ and integrate over x from 0 to 1, and over t from 0 to 1. After a single integration by parts over x and t , the following equality is constructed:

$$\begin{aligned} (\Delta U, \eta)_{t=0}^{t=1} - \left(\Delta U, \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) &= - (\Delta U, F_{om} \eta)_{|_{x=1}} - \left(D_w F_{22} \frac{\partial \Delta U}{\partial x} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial \Delta U}{\partial x} + \Delta D_w F_{22} \frac{\partial U}{\partial x} + \right. \\ &+ \left. D_w F_{21} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + \Delta D_w F_{21} \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right). \end{aligned} \quad (22)$$

By putting together equations (21), (22), and collecting similar terms, we derive that,

$$\begin{aligned} \left(\Delta T, \frac{\partial \psi}{\partial t} \right) - \left(\Delta T, F_{oq1} \psi \right)_{|_{x=1}} - \left(\Delta U, (1 - \varepsilon) F_{oq2} \psi \right)_{|_{x=1}} - \left(\Delta T, k_q F_{11} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} + \left(\Delta T, k_q F_{11} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right) - \\ - \left(\Delta k_q F_{11} \frac{\partial T_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \left(\Delta U, \varepsilon F_{12} \frac{\partial \psi}{\partial t} \right) + \left(\Delta U, \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) - (\Delta U, F_{om} \eta)_{|_{x=1}} - \\ - \left(\Delta U, D_w F_{22} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} - \left(\Delta T, D_w F_{21} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} - \left(\Delta D_w F_{22} \frac{\partial U_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \\ - \left(\Delta D_w F_{21} \frac{\partial T_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \left(\Delta U, D_w F_{22} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) + \left(\Delta T, D_w F_{21} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right). \end{aligned} \quad (24)$$

Functions $\psi(x, t)$ and $\eta(x, t)$ are selected in such a way that the following equality is valid:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_q F_{11} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w F_{21} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w F_{22} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \varepsilon F_{12} \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0. \quad (26)$$

And we set the following boundary conditions for functions $\psi(x, t)$ and $\eta(x, t)$:

$$-\left(F_{oq1} \psi + k_q F_{11} \frac{\partial \psi}{\partial x} + D_w F_{21} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} = 2(T(1, t) - T_g(t)), \quad (27)$$

$$-\left((1 - \varepsilon) F_{oq2} \psi + F_{om} \eta + D_w F_{22} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \Big|_{x=1} = 2(U(1, t) - U_g(t)). \quad (28)$$

$$\frac{\partial \psi(0, t)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \eta(0, t)}{\partial x} = 0, \quad (29)$$

At $t = 1$ the following conditions are set:

$$\psi(x, 1) = 0, \quad \eta(x, 1) = 0. \quad (30)$$

System (25) - (30) is called the conjugate problem of the system (7) - (12).

2.3 Iterative formula for calculating coefficients

After construction of conjugate problem, the following integral equality is derived from the equality (24)

$$2(T(1, t) - T_g(t), \Delta T) + 2(U(1, t) - U_g(t), \Delta U) = - \left(\Delta D_w F_{22} \frac{\partial U_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \left(\Delta D_w F_{21} \frac{\partial T_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \left(\Delta k_q F_{11} \frac{\partial T_{n+1}}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right). \quad (31)$$

Subtracting values of the functionals of two different iterations from the formula (13), we deduce that,

$$J(D_w(n+1), k_q(n+1)) - J(D_w(n), k_q(n)) = 2 \int_0^1 (T(1, t) - T_g(t)) \Delta T(1, t) dt + 2 \int_0^1 (U(1, t) - U_g(t)) \Delta U(1, t) dt + \int_0^1 (\Delta T(1, t))^2 dt + \int_0^1 \Delta(U(1, t))^2 dt.$$

Taking into account (31), we derive the equality:

$$J(D_w(n+1), k_q(n+1)) - J(D_w(n), k_q(n)) = \int_0^1 (\Delta T(1, t))^2 dt + \int_0^1 \Delta(U(1, t))^2 dt - F_{22} \left(\Delta D_w \frac{\partial \Delta U_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - F_{21} \left(\Delta D_w \frac{\partial \Delta T_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - F_{11} \left(\Delta k_q \frac{\partial \Delta T_n}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \left(F_{22} \left(\Delta D_w \frac{\partial U_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - F_{21} \left(\Delta D_w \frac{\partial T_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - F_{11} \left(\Delta k_q \frac{\partial T_n}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \right).$$

The first five terms on the right-hand side of equality are the second-order infinitesimal. Therefore, the sign of the left-hand side is determined by the sign of the last three terms standing on the right-hand side of the equal sign. We aim for the monotonical decrease of functional from iteration to iteration, hence,

$$D_w(n+1) = D_w(n) + \beta_1(n) \left(F_{22} \left(\frac{\partial U_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + F_{21} \left(\frac{\partial T_n}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \right),$$

$$k_q(n+1) = k_q(n) + \beta_2(n) F_{11} \left(\frac{\partial T_n}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right).$$

where $\beta_1(n) = \frac{\bar{\beta}_1}{(1+n)^{\mu_1}}$, $\beta_2(n) = \frac{\bar{\beta}_2}{(1+n)^{\mu_2}}$; $\mu_1, \mu_2 > 1$ are descent parameters.

3 Numerical results

The computational experiment was carried out by the Matlab software package. In order to verify feasibility of the method, the following experimentally determined thermophysical soil characteristics are taken from [14].

At $t=0$, the material is considered with uniform fields, with a temperature $T_0 = 10^0 C$ and initial moisture potential $U_0 = 86\%$. The boundary conditions are represented by air temperature $T_a = 20^0 C$ and air moisture potential $U_a = 4^0 M$. The computational experiment is carried out for soil with a depth of 1 m, within 24 hours.

Dimensionless numerical values are obtained by using formulas from chapter 2. The numerical solution is calculated by DuFort–Frankel different scheme with spatial discretization parameter $\Delta x = 10^{-2}$ and time discretization parameter $\Delta t = 10^{-3}$.

Figures 1 and 2 show the numerical results obtained at $\Delta x = 10^{-2}$, $\Delta t = 10^{-3}$ with initial approximations of the iterative method, diffusion and thermal conductivity coefficients of which deviate from the exact value by 20%.

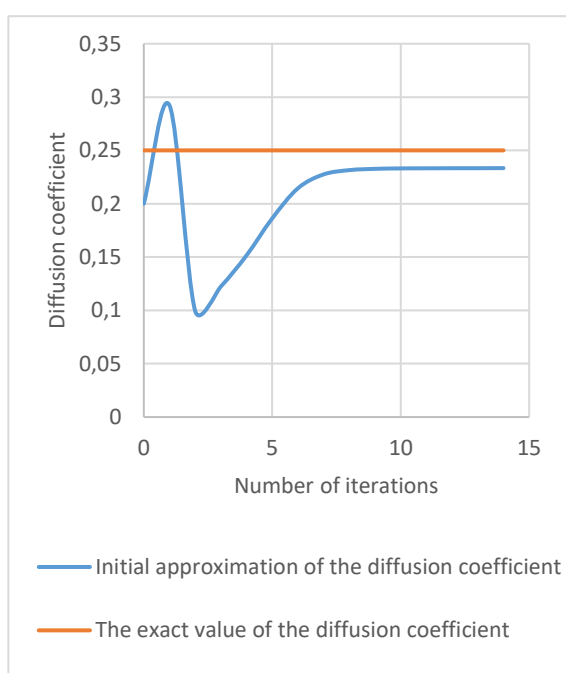


Figure 1. Diffusion coefficient with an initial approximation deviated by 20%

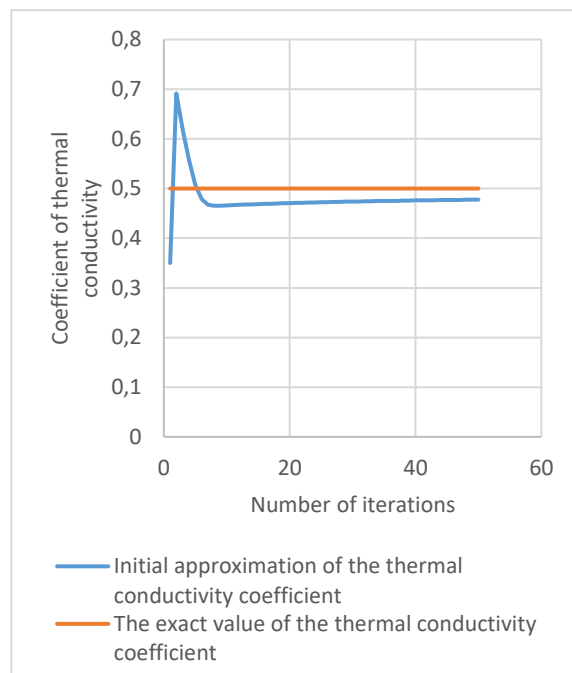


Figure 2. Thermal conductivity coefficient with an initial approximation deviated by 20%

Figures 3 and 4 show the results of calculating diffusion and thermal conductivity coefficients with initial approximations deviated from the exact value by 35% at $\Delta x = 10^{-2}$, $\Delta t = 10^{-3}$.

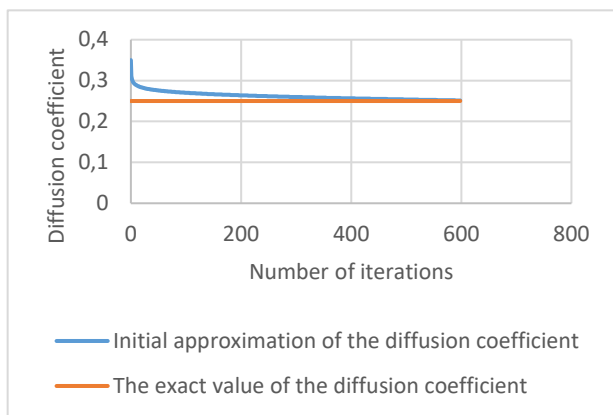


Figure 3. Diffusion coefficient with an initial approximation deviated by 35%

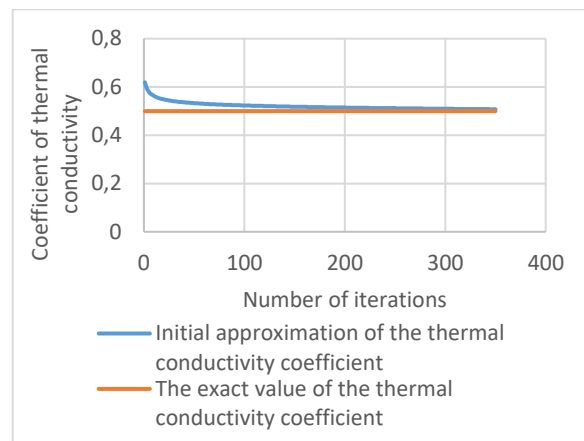


Figure 4. Thermal conductivity coefficient with an initial approximation deviated by 35%

4 Conclusions

In this paper, we consider the inverse problem of heat and mass transfer in the soil, which is described by the system of partial differential equations. The following results are obtained:

- a conjugate problem is derived from the direct initial-boundary heat and mass transfer problem;
- iterative formulas for calculating the thermal conductivity and diffusion coefficients are derived based on the functional minimization;
- direct and conjugate difference problems are constructed using the DuFort–Frankel scheme;
- an algorithm is developed for obtaining the unknown parameters of the inverse problem and the program is designed in the Matlab software package;
- numerical calculations have been carried out in order to prove the convergence of iterative processes.

For solving the system (1) - (2) it was used the Dufort-Frankel scheme, which is described in detail in [15]. And this work demonstrates that the Dufort-Frankel scheme is unconditionally stable. However, our numerical calculations show that the solution of the coefficient inverse problem of finding diffusion and thermal conductivity coefficients by Dufort-Frankel scheme gives conditional stability at $\Delta t \leq 10^{-3}$.

5 Acknowledgements

This research has been supported by Grant № AP08855955 from the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Список использованных источников:

- 1 Berger J., Guernouti S., Woloszyn M., Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation // *Journal of Building Engineering*. – Vol. 124. – 2018. – P.1 – 15. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.04.008>
- 2 Mendes N., Chhay M., Berger J. and Dutykh D. Numerical methods for diffusion phenomena in building physics // PUCP Press. Curitiba, Parana. - 1 edition. – 2017.
- 3 Desta T. Z., Langmans J. and Roels S., Experimental data set for validation of heat, air and moisture transport models of building envelopes // *Building and Environment*. - 46(5). – 2011. – Pp.1038– 1046. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.002>
- 4 Kalamees T. and Kurnitski J., Moisture Convection Performance of External Walls and Roofs // *Journal of Building Physics*. - 33(3) – 2010. - Pp.225–247. <https://doi.org/10.1177/1744259109343502>
- 5 Luikov A.V., *Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies* // Pergamon Press. - 1966.
- 6 Dos Santos G.H. and Mendes N., Heat, air and moisture transfer through hollow porous blocks // *Int. J. Heat Mass Transfer*. - 52(9-10). - 2009.- Pp. 2390–2398. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.11.003>
- 7 Driscoll T. A., Hale N. and Trefethen L. N., *Chebfun Guide* // Pafnuty Publications. Oxford. - 2014.
- 8 Vololonirina O., Coutand M. and Perrin B., Characterization of hygrothermal properties of wood-based products - Impact of moisture content and temperature // *Construction and Building Materials*.-2014. – Pp. 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.018>
- 9 Karchevsky A.L., Rysbaiuly B., 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*. - IISN 2306–6172. - Volume 3. - Issue 4. - 2015.- Pp. 55–67.

10 Rysbaiuly B., Rysbaieva N., *The method of solving nonlinear heat transfer model in freezing soil // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications (EJMCA)*. - Vol. 8. - Issue 4. - 2020. - Pp. 83-96.

11 Berger J., Dutykh D., Mendes N., Rysbaiuly B., *A new model for simulating heat, air and moisture transport in porous building materials // International Journal of Heat and Mass Transfer*. - 2019. - Volume 134. - Pp. 1041–1060. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.025>

12 Kabanikhin S. I., *Inverse and Ill-Posed Problems. Theory and Applications // De Gruyter*. – 2011. - p. 459.

13 Kabanikhin S. I., Koptuyg I. V., Iskakov K. T. and Sagdeev R. Z., *Inverse problem for a quasi-linear equation of diffusion // Journal of Inverse and Ill-posed Problems*. - Volume 6. - Issue 4. - 2009. - Pp. 335-351. <https://doi.org/10.1515/jiip.1998.6.4.335>

14 JEN Y. LIU., *Solutions of Luikov equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies // Int. J. Heat Mass Transfer*. - Vol. 34. No. 7. – 1991. - Pp. 1747 – 1754.

15 Gasparin S., Berger J, Dutykh D., Mendes N., *An improved explicit scheme for whole-building hygrothermal simulation // Building Simulation*. - Volume 11. - 2018. - Pp. 465–481. DOI:10.1007/s12273-017-0419-3

References:

1 Berger J., Guernouti S., Woloszyn M., *Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation // Journal of Building Engineering*. – Vol. 124. – 2018. - P.1 -15. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2015.04.008>

2 Mendes N., Chhay M., Berger J. and Dutykh D., *Numerical methods for diffusion phenomena in building physics // PUCP Press. Curitiba. Parana*. - 1 edition. – 2017.

3 Desta T. Z., Langmans J. and Roels S., *Experimental data set for validation of heat, air and moisture transport models of building envelopes // Building and Environment*. - 46(5). – 2011. - Pp.1038–1046. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.002>

4 Kalamees T. and Kurnitski J., *Moisture Convection Performance of External Walls and Roofs // Journal of Building Physics*. - 33(3) – 2010. - Pp.225–247. <https://doi.org/10.1177/1744259109343502>

5 Luikov A.V., *Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies // Pergamon Press*. - 1966.

6 Dos Santos G.H. and Mendes N., *Heat, air and moisture transfer through hollow porous blocks // Int. J. Heat Mass Transfer*. - 52(9-10). - 2009. - Pp. 2390–2398. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.11.003>

7 Driscoll T. A., Hale N. and Trefethen L. N., *Chebfun Guide // Pafnuty Publications. Oxford*. - 2014.

8 Vololonirina O., Coutand M. and Perrin B., *Characterization of hygrothermal properties of wood-based products - Impact of moisture content and temperature // Construction and Building Materials*. - 2014. – Pp. 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.018>

9 Karchevsky A.L., Rysbaiuly B., *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*. - IISN 2306–6172. - Volume 3. - Issue 4. - 2015. - Pp. 55–67.

10 Rysbaiuly B., Rysbaieva N., *The method of solving nonlinear heat transfer model in freezing soil // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications (EJMCA)*. - Vol. 8. - Issue 4. - 2020. - Pp. 83-96.

11 Berger J., Dutykh D., Mendes N., Rysbaiuly B., *A new model for simulating heat, air and moisture transport in porous building materials // International Journal of Heat and Mass Transfer*. - 2019. - Volume 134. - Pp. 1041–1060. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.025>

12 Kabanikhin S. I., *Inverse and Ill-Posed Problems. Theory and Applications // De Gruyter*. – 2011. - p. 459.

13 Kabanikhin S. I., Koptuyg I. V., Iskakov K. T. and Sagdeev R. Z., *Inverse problem for a quasi-linear equation of diffusion // Journal of Inverse and Ill-posed Problems*. - Volume 6. - Issue 4. - 2009. - Pp. 335-351. <https://doi.org/10.1515/jiip.1998.6.4.335>

14 JEN Y. LIU., *Solutions of Luikov equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies // Int. J. Heat Mass Transfer*. - Vol. 34. No. 7. – 1991. - Pp. 1747 – 1754.

15 Gasparin S., Berger J, Dutykh D., Mendes N., *An improved explicit scheme for whole-building hygrothermal simulation // Building Simulation*. - Volume 11. - 2018. - Pp. 465–481. DOI:10.1007/s12273-017-0419-3

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

МРНТИ 29.03.77
УДК 681.03

<https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.09>

THE MODELING OF CRYSTAL WAVE FUNCTIONS THROUGH POTENTIALS

Iskakova K.¹

¹*Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
ahmanova-ka@mail.ru*

Abstract

The aim of this work is to develop exact methods for crystal potentials and wave functions, which would allow to calculate the energy spectra of the electron states in various solids without fitting and use of corrective factors. The article considers the number of structural units of clusters and their physical properties of the GaAs structure. The resulting cluster is investigated and studied based on computer simulation as. We introduced an additional concept of interspherical space, shows certain characteristics that are present in the real space of the crystal lattice in the formation of the structure. Values describing the interspherical space are directly involved in describing the properties of direct and reciprocal space. The values of the variables describe the quasi-bound states of the structural units of the direct and reciprocal spaces. Quasi-bound states determine quantities that are parameters of the characteristics of the corresponding spaces. Computer modeling determines the spatial coordinates relative to the selected number of structural elements of the cluster in direct space. Solving the Poisson equation in reciprocal space, we obtain the electron density and the allowed values of the energy levels. An approach is discussed using the proposed concept of the intersphere space to the structure of GaAs clusters and the results of a computer-analytical study based on this concept, satisfying the solution of the equation of the intersphere oscillator.

Keywords: GaAs, cluster, nanocluster, cores, intercore space, interspherical space, interspherical oscillator, equations of state, electron density, energy levels.

Аңдатпа

К. Искакова

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

КРИСТАЛДЫҢ ТОЛҚЫНДЫҚ ФУНКЦИЯЛАРЫН ПОЦЕНЦИАЛДАР АРҚЫЛЫ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл жұмыстың мақсаты әртүрлі қатты денелердегі электрон күйлерінің энергетикалық спектрлерін түзету факторларын қолданбай және қолданбай есептеуге мүмкіндік беретін кристалдық потенциалдар мен толқындық функциялардың нақты әдістерін жасау болып табылады. Мақалада кластерлердің құрылымдық бірліктерінің саны және олардың GaAs құрылымының физикалық қасиеттері қарастырылады. Алынған кластер компьютерлік модельдеу негізінде зерттеледі және зерттеледі. Біз сфералық кеңістіктің қосымша түсінігін енгіздік, құрылымның қалыптасуында кристалдық тордың нақты кеңістігінде болатын белгілі бір сипаттамаларды көрсетеді. Сфералық кеңістікті сипаттайтын мәндер тікелей және өзара кеңістіктің қасиеттерін сипаттауға тікелей қатысады. Айнымалылардың мәндері тікелей және өзара кеңістіктердің құрылымдық бірліктерінің квази-байланысты күйлерін сипаттайды. Квазишектелген күйлер сәйкес өлшемдердің пропорцияларын анықтайды. Компьютерлік модельдеу тікелей кеңістіктегі кластердің құрылымдық элементтерінің таңдалған санына қатысты кеңістіктік координаттарды анықтайды. Пуассон теңдеуін өзара кеңістікте шеше отырып, біз электронның тығыздығын және энергия деңгейлерінің рұқсат етілген мәндерін аламыз. GaAs кластерлерінің құрылымына ұсынылған сфералық кеңістік тұжырымдамасын қолдану тәсілі және осы тұжырымдамаға негізделген компьютерлік-аналитикалық зерттеу нәтижелері, интерсфералық осциллятор теңдеуінің шешімін қанағаттандыратын әдіс талқыланады.

Түйін сөздер: GaAs, кластер, нанокластер, ядролар, ядроаралық кеңістік, сфера аралық кеңістік, сфералық осциллятор, күй теңдеулері, электрон тығыздығы, энергия деңгейлері.

Аннотация
К. Искакова

Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ КРИСТАЛЛА ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЫ

Целью работы является разработка точных методов для кристаллических потенциалов и волновых функций, которые позволили бы рассчитывать энергетические спектры электронных состояний в различных твердых телах без подгонки и использования поправочных коэффициентов. В статье рассмотрено количество структурных единиц кластеров и их физические свойства структуры GaAs. Полученный кластер исследуется и изучается на основе компьютерного моделирования. Введено дополнительное понятие межферного пространства, показывающее определенные характеристики, присутствующие в реальном пространстве кристаллической решетки при формировании структуры. Величины, описывающие межферное пространство, принимают непосредственное участие в описании свойств прямого и обратного пространства. Значения переменных описывают квазисвязанные состояния структурных единиц прямого и обратного пространства. Квазиограниченные состояния определяют пропорции соответствующих размерностей. Компьютерное моделирование определяет пространственные координаты относительно выбранного количества структурных элементов кластера в прямом пространстве. Решая уравнение Пуассона в обратном пространстве, получаем плотность электронов и разрешенные значения энергетических уровней. Обсуждается подход с использованием предложенной концепции межферного пространства к структуре кластеров GaAs и результаты основанного на этой концепции компьютерно-аналитического исследования, удовлетворяющего решению уравнения межферного осциллятора.

Ключевые слова: GaAs, кластер, нанокластер, ядра, межъядерное пространство, межферное пространство, межферный осциллятор, уравнения состояния, электронная плотность, энергетические уровни.

Introduction

We consider the crystal as a system of all its constituent elements, the properties of which are determined by the crystal system and there are no outside the crystal in a free state, used a nonlinear superposition of the interactions of these elements are not made outside the assumption of a crystal structure and its size. The known properties of the crystal experiments, for example, the frequency of the elements in the arrangement should be obtained as a consequence of the approach, not postulated in advance.

Methods investigated by computer simulation technology energy bands for metal crystals with structure of face-centered cubic. We used the developed in the works a theoretical approach and experimental data from literature sources [1-3].

We have explored the properties of quantum-well heteronanostructures (QRS) based on A^3V^5 direct-gap semiconductors containing layers of quantum wells (QWs) and quantum dots (QDs) is a determination of their structure and properties of nanosized objects. For instrumental applications, it is necessary to create homogeneous defect-free RS with the necessary geometric values and structural units. to implement their creation, an important component of the study is the analysis of the composition, the functional perfection of the details of the active elements of devices and diagnostics of the optoelectronic properties of quantum-well heterolayers.

Therefore the proposed technique is still the only one well-established technique that is applicable for the band spectrum was analysing of finite imperfect crystals.

In the plane of the quantum well, the motion of electrons remains unbounded. Therefore, electrons in a quantum well are referred to as a two-dimensional electron gas. The energy spectrum of the x- and y-energy components of a 2D gas is quasi-continuous, as in a three-dimensional material [4]. Low concentration electrons and conduction holes are attracted to point defects in semiconductors with deep levels. The concentration of electrons and conduction holes is several orders of magnitude less than the concentration of atoms of the main conductivity of the semiconductor. This proportion of charge carriers in semiconductor materials can have unknown significant effects in the use and manufacture of electronic and optoelectronic devices. Computer modeling of the structures of gallium arsenide shows within the radius of coverage there are discontinuities in the uniform arrangement of structural units. In various technological operations, such dislocations from uniformity affect the electronic properties of quantum-dimensional heteronanostructures. Therefore, it is important to study and develop the theory to improve technology. This, in turn, will lead to improvements in the parameters of devices based on quantum-sized heteronanostructures.

The results of computer simulation of the structure of the A_3B_5 gallium arsenide semiconductor, showing a peculiar defect in the form of a discontinuity located in the atomic crystal lattice with detection of coverage commensurate with the size of several interatomic distances. The crystal lattice of a gallium arsenide semiconductor combines two sublattices of three and five valence atoms, each of which generates its own

defect formation. A small perturbing factor substitutes the action of an atom of the gallium sublattice into the site of the arsenide sublattice. Leading to a violation of the structure of this compound. [5], [6].

To establish the relationship between the forward lattice, as well as to construct an inverse lattice and determine the properties of the Fermi surface and the number of incoming elements, you can use the differentiation rules. When calculating the required accuracy, the radius of coverage can take an arbitrary number of elements. High speed computations make it possible to perform dynamic computer simulation of the properties of real GaAs crystals [2], [7].

The characteristic of the GaAs cell shows that electrons in the conduction band occupy places in the vicinity of the minimum with energies spaced from the minimum by magnitudes much smaller than the width of the band, the magnitude of which is about 1 eV. Similarly, the places of the valence band that are not filled with electrons are located in the vicinity of its ceiling atoms of one substance into another with a constant flow of these atoms in time and a constant gradient of their concentrations.

The crystal potential and calculation the wave functions

Let's consider how the electronic spectrum of the A^3B^5 compounds is arranged near the point of a simple on the number and spatial orientation. Since the energy is a quadratic form of momentum, using the transformation of the coordinate system, depending on the number of nuclei in the cluster and their spatial location, it is possible to diagonalize of the energy changes periodically with different amplitudes. The arrangement of groups of atomic nuclei in different directions of space subjects to certain laws of a series. In various directions of the arrangement of the atomic cores appear parallel intersecting spaces. The real images of these spaces are antisymmetric to the spaces of atomic core. If the law of a number of numerical arrangements of the atomic cores is characterized by integer coordinates, the components of the atomic arrangement of the planes are described by fractional coordinates.

When determining the energy spectra of quantum mechanical problems for periodic structures, translation methods are often used. Using these simple considerations, we can write the following general expressions for a cubic crystal in the case when semiconductors have a periodic structure. The law of electron dispersion in the vicinity of the bottom of the conduction band can be written by the expression:

$$V(\vec{r}) = \left[\sum_{i=0}^N V_n(\vec{r}_i) \right] + U_0(\vec{r}) + V_{\text{exh}}(\vec{r}). \quad (1)$$

where $V_n(r_i)$ – i -th kernel generates a potential at the point r ; the solution of the Poisson equation determines the potential of electrons $U_0(r)$ created at a certain point r by electrons of low levels of atomic orbitals

$$\nabla^2 U_0(\vec{r}) = -8\pi\rho_0(\vec{r}). \quad (2)$$

The value $\rho_0(r)$ – denotes the radius-dependent vector r , originating from the atomic center, the electron density of the underlying atomic orbitals; $V_{\text{exh}}(r)$ – the exchange potential radius-dependent vector r is $V_{\text{exh}}(r)$; $r_i = |r - a_i|$ – the distance from the i -th node to the point r ; a_i – the node location; N – relative to the coverage radius, the constituting cluster is selected the number of atomic cores. The method of Hartree-Fock-Slater is used to solve the Schrödinger equation with the potential determined by the composition of the cluster (1).

The following equation is the computed density of a given state:

$$\rho_0(r) = \sum_{n,l} r^2 R_{nl}^2(r). \quad (3)$$

The radial part of the wave function of an electron for a hydrogen atom [1], [4], [5] has the form of a function – $R_{nl}(r)$. For electron densities, we apply the superposition principle, integral equation 3 is characterized by additivity, then its solution looks like this:

$$U_0(r) = \sum_{i=0}^l u(r_i), \quad (4)$$

$$u(r_i) = \sum_{n,l} u_{nl}(r_i), \quad (5)$$

where, the set of the number of atoms minus one is denoted by $-I$, r_i is the distance from the specified point to the center of the i -th atom

$$\vec{r}_i = \vec{r} - \vec{a}_i. \quad (6)$$

the distance from the origin center to the i -th atom is described by the radius vector a_i . The equation of Poisson for the electron of the i -th atom is obtained as follows:

$$\nabla^2 u_{nl}(\vec{r}_i) = -8\pi r_i^2 R_{nl}^2(\vec{r}_i). \quad (7)$$

We have obtained a solution to equation (8), in the following form

$$u(\vec{r}_i) = -8\pi \sum_{n,l} \iint u_{nl}(\vec{r}_i) d\vec{r}_i^2. \quad (8)$$

We find the potential $U_0(r)$ directly using the functions (Eq.4, Eq.5, Eq.6, Eq.7, Eq.8). An efficient and accurately calculated electronic potential is the result of this approach.

In gallium arsenide, the bottom of the conduction band is located at the G-point. The effective mass of an electron in the conduction band is $0.067m_0$. The valence band in GaAs is arranged similar to that in Germany. The band gap at 300 K is 1.424 eV. Gallium arsenide is a straight-band semiconductor. It will be shown later that this fact is the reason for the widespread use of GaAs in light-emitting devices. The value of spin-orbital splitting is 0.3 eV. Absence of an inversion center it leads to a small splitting of energy in the vicinity of the bottom of the conduction band and to its displacement from the G-point in the direction [111].

The state becomes energetically unfavorable with a uniform distribution of electrons in space, the interaction between them. The appearance of the so-called Wigner or "electronic crystal" is possible with an ordered organization of electrons in space [5], [8].

If in GaAs one of the atoms of the sublattices is replaced by an atom with a higher valence, an atom with a valence of 5 will take the place of the "native" atom. It is obvious that in the valence band, which is all filled, there is no places, and therefore the states with the lowest energy are in the conduction band. Once in the conduction band, an additional valence electron spreads throughout the crystal. The impurity atom thus becomes a positively charged ion, since the valence electrons "compensate" only a charge equal to the number of valence electrons of the "native" atom. Thus, there is an electric field of attraction of an electron trapped in the conduction band to an impurity atom. The crystal is in a stable state due to the ordered arrangement of opposite charges.

Results of Computational Crystallizing Potential Modeling of the diamond structure of GaAs are shown gaps of the potential at the distance 1.4 a.u. where the atom of main diagonal is located. In figure 1 is shown the GaAs potential along Ox axis through three Ga atoms. In figure 2 is shown the GaAs potential along the main diagonal of the crystal lattice.

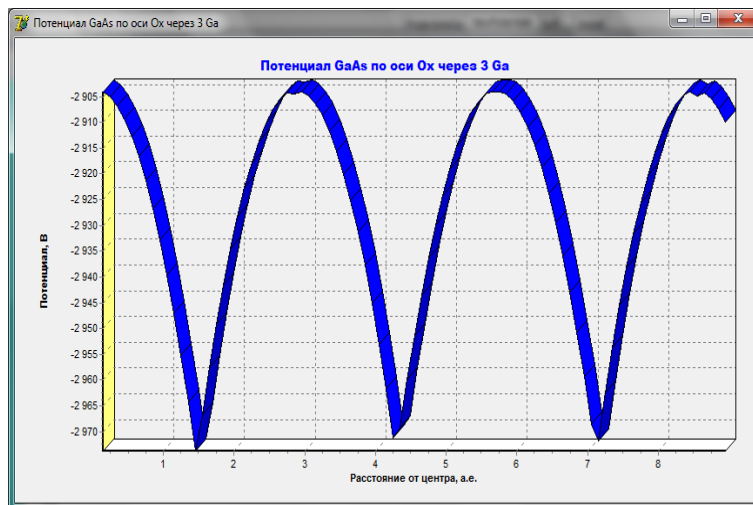


Figure 1. The GaAs potential along Ox axis through three Ga atoms

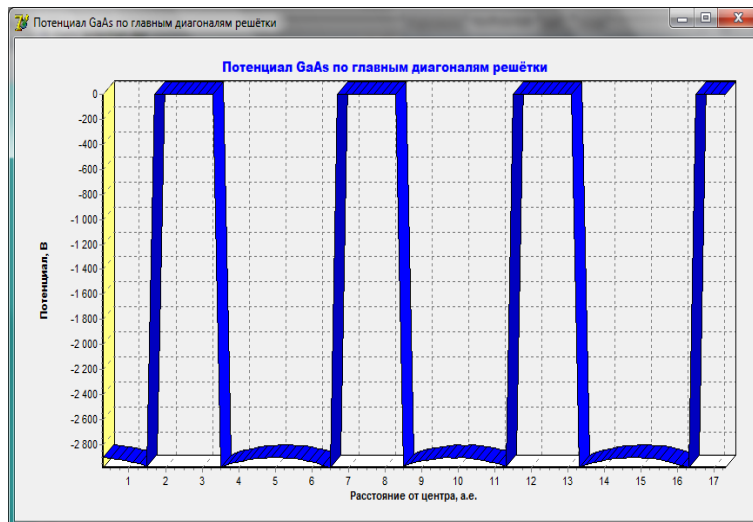


Figure 2. The GaAs potential along the main diagonal of the crystal lattice

Our results of modeling the crystal potential show that a crystal can be modeled taking into account all its features. It is clear from the definition that the potential of the central cell is markedly different from zero only near the impurity atom at distances of the order of the lattice constant. If the size of the electron orbit is much larger than the lattice constant, then the contribution from the potential of the central cell can be considered as a perturbation. The correction to the energy of the impurity state due to the potential of the central cell is commonly called a chemical shift, since this correction depends on the chemical nature of this impurity center, whereas the Coulomb interaction and the impurity spectrum caused by it depend only on the magnitude of the impurity charge.

Regardless of whether the field exists in the space surrounded by the shell or not in the empty space surrounded by the shell, the electric field is zero. For GaAs, the radius of the ground state of the donor is approximately 100 Å. The ionization energy of the donor in GaAs is about 5.8 MeV and is almost the same for germanium and silicon atoms taking the place of gallium atoms. Impurities whose localized states are located near the edges of the zones are called fine. If the impurity levels are located deep in the zone, then such impurities are called deep. To describe the state of deep impurities, it is necessary to take into account both the contribution to the wave function of several energy zones and the potential of the central cell. In these cases, the transition of an electron through electron shells occurs due to quantum mechanical effects.

The modeling of the structure GaAs

During the formation of a gallium arsenide crystal, the electronic configuration of the 4s4p states changes. Therefore, it is possible to extend the integration to infinite limits, and for the dependence of the electron energy on momentum, use this dependence near the bottom of the conduction zone. Electrons in the conduction band and holes in the valence band can be considered as an ideal Fermi gas. This is an approximation, since the electrons in the conduction band interact with each other as well as with charged impurities. However, in semiconductors at not very low temperatures, the kinetic energy of the electrons is greater than the Coulomb energy, so the electrons can be considered as free. [2], [9]. Then, to determine the band spectrum, you can use the wave function obtained with respect to these potentials. In figure 3 is shown the wave function of a crystal of copper for the $n = 4$.

It can be seen from this figure that the fluctuations of the wave functions coincide with breaks of potentials in simple structures such as Cu, and in complex structures as GaAs.

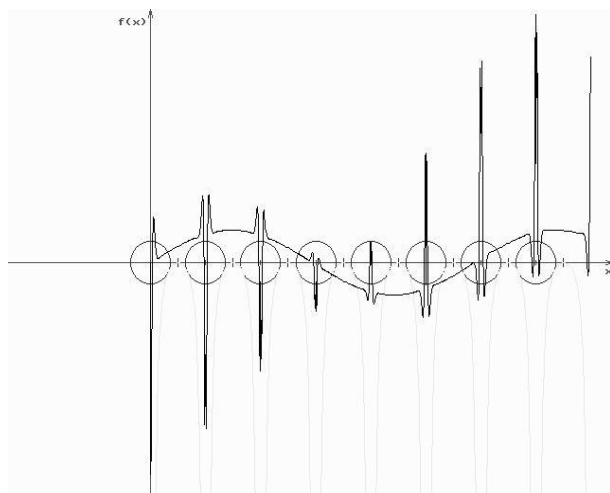


Figure 3. The wave function of a crystal of copper for the $n = 4$

Conclusion

When considering the movement of electrons in a crystal in weak fields, it was shown that in a constant weak electric field, the movement of electrons is finite. Therefore, this consideration cannot explain the flow of current in conductive crystals. The reason for this is that we considered the motion of an electron in an ideal crystal. In this approximation, we were able to establish the law of electron dispersion and develop methods to describe it. However, we have neglected the imperfection of the crystal (or lattice defects), which is essential for the description of the crystal. This "imperfection" of the crystal can be described within the framework of perturbation theory, since the potential that it creates is small compared to the self-consistent Hartree-Fock potential [8], [10]. The atoms inside the unit cell oscillate synchronously in acoustic vibrations. For optical oscillations, the displacement vector refers to the change in the distance between the atoms inside the unit cell, since in this type of oscillation, the center of mass of the unit cell remains stationary. It is obvious that with any translation of the crystal as a whole, the energy of the electron does not change. But when the phonon wave vector tends to zero, acoustic vibrations describe the vibrations of the crystal as a whole.

References:

- 1 T. Loucks, *Augmented plane wave method*. New York, W. A. Bendjamin Inc., 1967, p. 12-62.
- 2 Iskakova K.A., Ahmaltdinov R.F., *Possibilities of the modifications of the method of calculation of wave function and zonal spectrum of crystal structure*, PCI-2010 «12th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice». Sapporo, Japan.
- 3 Iskakova K.A., Ahmaltdinov R.F., *Modelling and calculation of FCC structures and principles of the algorithm structure Si*, 88th annual meeting of the German Mineralogical Society, 19–22. September 2010 Munster, Germany.
- 4 Iskakova K.A., Ahmaltdinov R.F., *Modeling of the crystal structure growth process of GaAs*. *Applied Physics A Materials Science & Processing*, ISSN: 0947-8396, November 2012, Vol. 4, No. 109, pp 1116-1124.
- 5 S. Makram-Ebeid, P. Langlade, G. M. Martin, in *Proceeding of the Third Conference on Semi-insulating III-V Materials*, D. C. Look, J. S. Blakemoore, Eds.; Shiva, (1985) Nantwich: Nantwich, England.
- 6 Iskakova K.A., Ahmaltdinov R.F., *Production of thin copper oxide films and its electronic density*, *AIMS Materials Science*, 2019, 6(3): 454-463. doi: 10.3934/matserci.2019. 3.454
- 7 Iskakova Kulpash; Ahmaltdinov Rif; Kuketaev Temirgali; Kosov Vladimir, *The Electron Density and Energy States for Nanoclusters of GaAs*, *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, Volume 11, Number 5, May 2019, pp. 621-629(9), doi.org/10.1166/nnl.2019.2935
- 8 Iskakova Kulpash; Ahmaltdinov Rif, *Nickel oxide nanoparticles on the surface of the gallium arsenide nanocluster structure*, *Nanomaterials and Energy*, 2019 DOI: 10.1680/JNAEN.19.00032
- 9 Iskakova K.A., *Plasma Deposition of Gallium Arsenide Nano clusters on a Silicon Matrix*, *Journal of Nanomaterials* Volume 2022, Article ID 3767355, <https://doi.org/10.1155/2022/3767355>
- 10 M. Shoaib, I. Khan, Mohammad Mahtab Alam, G. Rooh, N. Chanthima, S. Kothan, I. Ullah, A. Ahad, J. Kaewkhao, *Investigation of luminescence properties of Ho³⁺ doped barium, zinc and gadolinium based phosphate glasses*, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics* 260 (2022) 169046, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169046>

А.К. Саймбетов^{1*}, Н.М. Джапашов¹, М.К. Нұрғалиев¹, Н.Б. Құттыбай¹, Н.Ж. Қошқарбай¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: asaymbetov@kaznu.kz

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ДВУХСТОРОННЕЙ ДИФФУЗИИ В МОНОКРИСТАЛЛ КРЕМНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация

Работа нацелена на нахождение оптимального режима двухсторонней диффузии лития в монокристалл кремния для изготовления Si(Li) детекторов больших размеров. В работе использовался метод моделирования процессов двухсторонней диффузии атомов лития в монокристаллический кремний, путем численного решения задачи диффузии с граничными условиями. Для моделирования и решения задач использовалась программная среда MATLAB. В качестве исходного материала в процессе моделирования были выбраны физические характеристики бездислокационного монокристаллического кремния р-типа. По результатам моделирования двухсторонней диффузии лития в монокристалл кремния был определен оптимальный режим для получения Si(Li) детекторов большого диаметра. Для получения детекторов диаметром ≥ 100 мм с толщиной чувствительной области более 4 мм, оптимальная температура 430-450 °С за временной интервал 3 мин с глубиной проникновения лития $h_{Li} = 300 \pm 10$ мкм.

Ключевые слова: двухсторонняя диффузия, Si(Li) детекторы, моделирование диффузии, режимы диффузии.

Аңдатпа

ЯДРОЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ ДЕТЕКТОРЛАРЫ ҮШІН КРЕМНИЙ МОНОКРИСТАЛЫНА ЕКІ ЖАҚТЫ ДИФФУЗИЯНЫҢ ОҢТАЙЛЫ РЕЖИМІ

А.К. Саймбетов^{1*}, Н.М. Джапашов¹, М.К. Нұрғалиев¹, Н.Б. Құттыбай¹, Н.Ж. Қошқарбай¹

¹ аль-Фараби атындағы Қазақ ұлт тық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Берілген жұмыс Si(Li) үлкен детекторларды жасау үшін кремний монокристалына литийдің екі жақты диффузиясының оңтайлы режимін табуға бағытталған. Жұмыста диффузия мәселесін шекаралық шарттармен сандық шешу арқылы литий атомдарының монокристалды кремнийге екі жақты диффузия процестерін модельдеу әдісі қолданылды. Қойылған мәселелерді модельдеу және шешу үшін MATLAB бағдарламалық ортасы қолданылды. Модельдеу барысында бастапқы материал ретінде р-типті орнығусыз монокристалды кремнийдің физикалық сипаттамалары таңдалды. Литийдің кремний монокристалына екі жақты диффузиясын модельдеу нәтижелері бойынша үлкен диаметрлі Si(Li) детекторларын алу үшін оңтайлы режим анықталды. Диаметрі ≥ 100 мм, сезімтал аймақтың қалыңдығы 4 мм-ден асатын детекторларды алу үшін 3 мин уақыт мезетінде оңтайлы температура 430-450 °С және литийдің ену тереңдігі $h_{Li} = 300 \pm 10$ мкм құрайды.

Кілттік сөздер: екі жақты диффузия, Si(Li) детекторлары, диффузияны модельдеу, диффузия режимдері.

Abstract

OPTIMAL MODE OF DOUBLE SIDED DIFFUSION IN A SILICON MONOCRYSTAL FOR NUCLEAR RADIATION DETECTORS

Saymbetov A.K.^{1*}, Japashov N.M.¹, Nurgaliyev M.K.¹, Kuttybay N.B.¹, Koshkarbay N.Zh.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The paper is aimed at finding the optimal mode of double sided diffusion of lithium into a silicon monocrystal for the manufacturing large-size Si (Li) detectors. In this work, a numerical method was used to simulate the processes of double sided diffusion of lithium atoms into monocrystal silicon to solve the diffusion problem with boundary conditions. The MATLAB software environment was used for modeling and solving problems. The physical characteristics of dislocation-free monocrystal p-type silicon were chosen as the initial material in the simulation process. Based on the results of modeling the double sided diffusion of lithium into a silicon monocrystal the optimal mode for obtaining large-diameter Si (Li) detectors was determined. To obtain detectors with a diameter of ≥ 100 mm with thickness of a sensitive area more than 4 mm, the optimal temperature is 430-450 °C for time 3 min with a lithium penetration depth $h_{Li} = 300 \pm 10$ μ m.

Keywords: double-sided diffusion, Si (Li) detectors, diffusion modeling, diffusion modes.

Введение

Изучение диффузии Li в твердых телах важно для понимания механизма переноса легких атомов/ионов, а также для соответствующего применения, как например, при производстве литий-ионных батарей [1], Li-связанных детекторов [2] или в сенсорике [3]. В этой связи, диффузия - сложное явление, вызванное термически активированным случайным движением атомов. Это зависит, помимо температуры окружающей среды, от свойств окружающего материала, например его кристаллическая структура [4], структурные дефекты [5, 6] или внутреннее напряжение [7]. Если рассматривать классическую диффузию (т.е. свойства материалов не принимаются во внимание напрямую), на нее будет влиять только температура окружающей среды. Процесс диффузии обычно требует относительно высокой температуры. Закон Фика помогает нам описывать процессы классической диффузии. Учитывая поток диффундирующих атомов, первый закон Фика выражается как $J = -D \cdot \nabla C$, где J (кг·моль/м²·с) - поток атомов, C (кг·моль/м³·м) - их плотность, а D (м²/с) - их коэффициент диффузии. В работе мы рассматриваем особенности двухсторонней диффузии атомов Li в монокристалл кремния для разработки Si(Li) детекторов для ядерного излучения.

Диффузия атомов лития в Si является одним из начальных процессов в изготовлении Si(Li) детекторов [8]. Ранее в работах [9] было показано поэтапная схема разработки Si(Li) детекторов больших размеров методом двухсторонней диффузии и дрейфа ионов Li в монокристалл кремния.

Чтобы сократить время изготовления и избежать неоднородностей при изготовлении Si (Li) p-i-n-детекторов ядерного излучения, мы предлагаем метод двусторонней диффузии ионов лития, который предшествует дальнейшему двустороннему дрейфу. Изготовление Si (Li) p-i-n структуры с помощью двусторонней технологии позволяет сократить время изготовления детектора и повышает однородность структуры детектора. Поскольку при проникновении ионов лития в кремний, ионы лития распределяются по всей поверхности цилиндрического кристалла, чем глубже длина распределения, тем неоднороднее становится распределение носителей зарядов в кристалле [9]. Соответственно, при двусторонней технологии длина проникновения ионов сокращается вдвое, что заметно уменьшает проявления неравномерного распределения ионов лития в монокристаллическом кремнии.

Известно, что в полупроводниковых материалах с протяженной областью объемного заряда, в таких как детекторы ядерного излучения, их электрофизические и эксплуатационные свойства напрямую связаны с закономерностями движения заряженных частицы в этой области. В структурах с довольно большими, протяженными и чувствительными (рабочими) областями, рассмотрение вопросов сбора (переноса) носителей заряда является достаточно сложной задачей, из-за вышесказанных особенностей свойств больших объемов кристалла.

Проблема изучения движения частицы в этих случаях имеет фундаментальное значение в процессах преобразования потока носителей заряда во многих полупроводниковых устройствах. Вследствие фундаментальной ценности понимания этих физических процессов необходимы теоретические и экспериментальные работы в этом направлении.

Методология исследования

В работе использовался метод моделирования процессов двухсторонней диффузии атомов лития в монокристаллический кремний, путем численного решения задачи диффузии с граничными условиями. Для моделирования и решение задач использовалась программная среда MATLAB. В качестве исходного материала в процессе моделирования были выбраны физические характеристики бездислокационного монокристаллического кремния p-типа диаметром 100 мм, сопротивлением 10-12 Ом·см и временем жизни более 50 мкс, выращенный методом Чохральского.

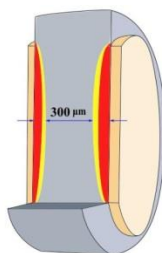


Рисунок 1. Двухсторонняя диффузия атомов лития в монокристалл кремния p – типа, на глубину 300 мкм.

При технологическом подходе, диффузия лития осуществлялась в вакууме при давлении $p = 10^{-5}$ мм.рт.ст. на глубину 300 мкм, с двух плоскостей цилиндрического монокристаллического кремния при температуре 380-450 °С в течение $t = 3-4$ мин.

Для того чтобы подготовить исходный материал для детектора, необходимо получить чистый (с малым содержанием примесей) монокристаллический, цилиндрический кремний нужного размера. Для удаления нарушенного слоя применяют двухстороннее шлифование на шлифовальном станке с применением микропорошков М-14, М-5 с последовательным уменьшением диаметра абразива. При этом снимается слой толщиной не менее 50 мкм с каждой стороны. Чтобы очистить поверхность пластин для этой процедуры, наряду с существующими методами очистки поверхности, также используются новые оптимизированные и улучшенные методы. В частности, кипячение в течение 15 мин в перекисно-аммиачном растворе. При обработке в этой слабощелочной среде эффективно удаляются неполярные органические загрязнители, такие как минеральные масла, парафин и т. д. Дипольный момент молекул таких веществ невелик, поэтому они обладают высокой удельной поверхностной энергией и вызывают термодинамическую нестабильность поверхности. Другим методом улучшения процесса очистки кристалла является кипячение в течение 7 мин в концентрированной азотной кислоте и промывание в деионизированной воде. При такой обработке ионные химические загрязнения (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , Fe^{++} и т. д.) удаляются с поверхности путем превращения их в водорастворимые соли с последующей промывкой в деионизированной воде. Далее производится повторная обработка перекисно-аммиачном растворе в течение 15 мин и промывание деионизированной водой. В этом процессе гидрофобные пористые оксидные пленки эффективно удаляются с поверхности.

Теоретические основы

Изготовление Si(Li) детекторов большой площади из кремния выращенного методом Чохральского (КЧ), имеет свои особенности. В то же время наличие кислорода и связанного с ним комплекса Li-O в значительной степени определяют стабильность готовых Si(Li) p-i-n⁺ структур.

Для выбора температурно-временных режимов получения требуемых диффузионных профилей в образцах на базе кремния выращено методом Чохральского необходимо решения диффузионного уравнения с учетом большой концентрации комплекса Li-O.

Как обычно, диффузия лития производится в p-Si с постоянной объемной концентрацией кислорода N_{O_2} , следовательно, концентрация свободного лития будет определяться как $N_{Li}(x)-p(x)$, где $p(x)$ – концентрация комплексов LiO. Основываясь на теории Рейса [10], находим что влияние комплексообразования на величину эффективного коэффициента диффузии будет выглядеть следующим образом.

$$D(x) = \frac{D_0}{2} \left[\frac{N_{Li}(x) - N_{O_2} + \frac{1}{k}}{\sqrt{\left(N_{Li}(x) - N_{O_2} - \frac{1}{k}\right)^2 + \frac{4N_{Li}(x)}{k}}} + 1 \right] \quad (1)$$

где D_0 – коэффициент диффузии лития в безкислородном Si, N_{Li} -концентрация лития, N_{O_2} -концентрация кислорода.

Для расчета двухстороннего диффузионного профиля атомов лития в монокристаллический кремний, выращенный методом Чохральского, с учетом комплексообразования, выражаем конечное уравнение в виде (2), который был выведен в нашей предыдущей работе [11].

$$\frac{N(x,t)}{N_s} = \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{\frac{D_0 t_0}{1+k(T_0) \cdot N_{O_2}} + A \cdot \int_{t_0}^t \frac{\exp(-B/T(t))}{1+k(T)N_{O_2}} dt}} + \frac{L-x}{\sqrt{\frac{D_0 t_0}{1+k(T_0) \cdot N_{O_2}} + A \cdot \int_{t_0}^t \frac{\exp(-B/T(t))}{1+k(T)N_{O_2}} dt}} \right) \quad (2)$$

где $D_0=A\exp(-B/T_0)$, $D(t)=A\exp(-B/T(t))$, $k(T) = k[T(t)]$ - константа равновесия при данной температуре T в момент времени t . A, B – предэкспоненциальный множитель и энергия активации диффузии соответственно (для диффузии лития в кремнии) $A = 23 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$, $B = 15200 \text{ кал/град}$.

Результаты и обсуждение

Эффективность образования радиационных дефектов в кремнии зависит от содержания в кристаллах не только легирующих, но и фоновых примесей, в первую очередь кислорода, который входит в состав радиационных дефектов как вакантного (А-центры), так и межузлового (комплексы (C_i-O_i)) типов.

Монокристаллический кремний выращенный методом Чохральского, имеет большое комплексобразование $Li-O$. Комплекс $Li-O$ снижает концентрацию электрически активного лития, но при этом время распределения лития в низкоомном кремнии увеличивается из-за высокой концентрации бора (теория Райса). В результате получается практически полная компенсация в диффузионной области.

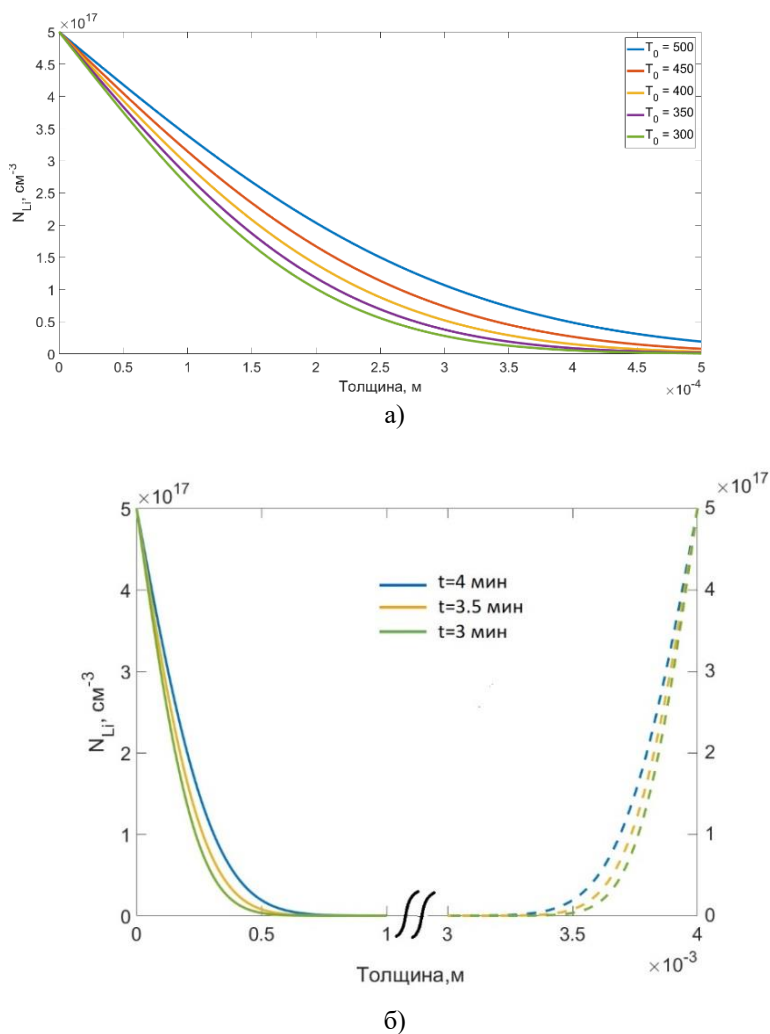


Рисунок 2. а) профиль одностороннего распределения атомов лития в монокристалле кремния; б) профиль двухстороннего распределения атомов лития в монокристалл кремния при температуре 450 °C при временных интервалах 3 мин, 3,5 мин и 4 мин

На рисунке 2 а) и б) показаны теоретические расчеты диффузионного профиля атомов лития в монокристаллическом кремнии. Результаты были получены при моделировании процессов диффузии путём решения дифференциального уравнения (2). На рисунке 2 а) температурный режим составлял от 300 °C до 500 °C , с интервалом 50 °C . На рис. 2 б) показаны режимы времени диффузии при постоянной температуре 450 °C и временных интервалах 3 мин, 3,5 мин и 4 мин.

Следует отметить, что выбор температурно-временного режима диффузионного легирования кремния следует производить с учетом условий образования термодфектов. Интервал температур $300 \div 500$ °С, обычно используемый для диффузии лития в технологии Si(Li) p-i-n детекторов, содержит критическую температуру 450°С, при которой происходит интенсивная генерация термодфектов донорного типа [11 - 12].

По результатам моделирования можно увидеть, что оптимальный режим диффузии лития для получения детекторов большого диаметра с толщиной чувствительной области более 4 мм, достигается подачей температуры 430-450 °С за $t = 3$ мин на глубину проникновения лития $h_{Li} = 300 \pm 10$ мкм.

Заключение

По результатам моделирования двухсторонней диффузии лития в монокристалл кремния был определен оптимальный режим для получения детекторов большого диаметра. Так же расчеты показали, что в монокристаллическом кремнии, полученным методом бестигельной зонной плавки, процесс диффузии происходит относительно быстро, тогда как проникновение ионов лития в монокристаллический кремний, полученный методом Чохральского, имеет замедленный характер. Это связано с уменьшением эффективного коэффициента диффузии из-за комплексного образования Li-O в кислородосодержащем кремнии, полученным методом Чохральского.

Для полупроводниковых детекторов, используемых для спектрометров, этот результат очень важен, поскольку открывает возможности для улучшения их характеристик – повышения эффективности регистрации за счет формирования прецизионной диффузии тонких контролируемых «мёртвых слоев» и уменьшения значения обратного тока детекторов. Тем самым может улучшить энергетическое разрешение полупроводникового детектора.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP09058014 Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан и выполнена в Казахском Национальном Университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

Список использованных источников:

- 1 Kazemi N. et al. Modeling of all-solid-state thin-film Li-ion batteries: Accuracy improvement //Solid State Ionics. – 2019. – V. 334. – PP. 111-116.
- 2 Ceccio G. et al. Diffusion of Lithium in Thin Copper Measured by Neutron Depth Profiling //The Journal of Physical Chemistry C. – 2020. – V. 124. – №. 47. – PP. 25748-25753.
- 3 Li W. Y., Xu L. N., Chen J. Co3O4 nanomaterials in lithium-ion batteries and gas sensors //Advanced Functional Materials. – 2005. – V. 15. – №. 5. – PP. 851-857.
- 4 Glicksman M. E. Diffusion in solids: field theory, solid-state principles, and applications //New York. – 2000. – PP. 54-56.
- 5 DuBeshter T. et al. Measurement of tortuosity and porosity of porous battery electrodes //Journal of The Electrochemical Society. – 2014. – V. 161. – №. 4. – P. A599.
- 6 Vacik J. et al. Diffusion of 6Li in tantalum and tungsten studied by the neutron depth profiling technique //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2005. – V 237. – PP.485-490.
- 7 Yang F. Q. et al. Interaction Between Stress and Diffusion in Lithium-Ion Batteries: Analysis of Diffusion-Induced Buckling of Nanowires //Handbook of Mechanics of Materials. – 2018. – PP. 1-20.
- 8 Kia A. M. et al. Spectroscopic analysis of ultra-thin TiN as a diffusion barrier for lithium-ion batteries by ToF-SIMS, XPS, and EELS //Applied Surface Science. – 2021. – V. 564. – P. 150457.
- 9 Strauß F. et al. Lithium Diffusion in Ion-Beam Sputter-Deposited Lithium–Silicon Layers //The Journal of Physical Chemistry C. – 2020. – V. 124. – №. 16. – PP. 8616-8623.
- 10 Lauber A. The theory of compensation in lithium drifted semiconductor detectors //Nuclear Instruments and Methods. – 1969. – V. 75. – №. 2. – PP. 297-308.
- 11 Saymbetov A. et al. Physical Processes during the Formation of Silicon-Lithium pin Structures Using Double-Sided Diffusion and Drift Methods //Materials. – 2021. – V. 14. – №. 18. – PP. 5174.
- 12 Korsós F. et al. Efficiency limiting crystal defects in monocrystalline silicon and their characterization in production //Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2018. – V. 186. – PP.217-226.

ИНФОРМАТИКА COMPUTER SCIENCE

МРНТИ 73.29.17
УДК 658.7

<https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.11>

А.Д. Абдувалова¹, М.М. Абдимомынова^{1*}

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

*e-mail: abduvalova08@gmail.com

ГРАФ-СЫЗБАНЫ ПАЙДАЛАНЫП КӨЛІК ЛОГИСТИКАСЫНДА ОҢТАЙЛАНДЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУ

Аңдатпа

Мақалада логистиканың дамуындағы шешуші рөлді айқындайтын нарықтық даму жағдайындағы көлік-логистикалық жүйелерді және олардың элементтерін оңтайландырудың модельдері мен әдістері қарастырылған. Қазіргі заманғы теория және сандық оңтайландыру әдістері - бұл көлік қызметтерінің тиісті секторлары көлемінің өзгеруіне бейімделуге тез және аз ресурстар мен уақытты, әдістер мен модельдерді қолдана отырып көлік құралдарын басқару кезінде ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Мақалада көлік-логистикалық жүйелерді басқару деңгейі мен ұйымдастыруды арттыру мақсатында компьютерлік технологияларды қолданатын логистикалық жүйелер режимін оңтайландыру әдісі талқыланады. Бағытталған граф көрсетілген сапа критерийін ескере отырып, есептелген графикке сүйене отырып, күрделі маршрутпен көлік желісінде жүктерді жеткізудің ең кіші маршрутын таңдауды автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мақалада әдісті жүзеге асырудың оңтайландыру алгоритмі және көлік жұмысын орындау уақытын қысқарту үшін компьютерлік есептеу келтірілген.

Түйін сөздер: оңтайландыру есебі, алгоритм, транспорттық логистика, бағытталған граф, мақсатты функция, модель, сапа критерийлері.

Аннотация

А.Д. Абдувалова¹, М.М. Абдимомынова¹

¹Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ В ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ С ПОМОЩЬЮ ГРАФ-СХЕМ

В статье рассматриваются модели и методы оптимизации транспортно-логистических систем и их элементов в условиях развития рынка, которые определяют решающую роль в развитии логистики. Современная теория и численные методы оптимизации являются инструментом, позволяющим принимать научно обоснованные решения при управлении транспортными средствами с использованием методов и моделей, которые могут реализоваться и работать в кратчайшие сроки без затрат ресурсов и времени при изменениях объемов соответствующих секторах предоставления транспортных услуг.

В статье рассматривается метод оптимизации режима логистических систем с использованием компьютерных технологий, с целью повышения уровня и организации управления транспортно-логистическими системами с коррекцией по состоянию. Ориентированный граф, позволяет автоматизировать выбор наименьшего пути доставки грузов в транспортной сети со сложным маршрутом, осуществляемый на основе рассчитанного графа, с учетом качества занного критерий. В работе представлен алгоритм для реализации метода оптимизации и компьютерная вычисление для сокращения времени выполнения транспортной работы.

Ключевые слова: задача оптимизации, алгоритм, транспортная логистика, граф направлений, целевая функция, модель, критерии качества.

Abstract

SOLUTION OF PROBLEMS IN OPTIMIZING TRANSPORT LOGISTICS USING GRAPH SCHEMES

Abduvalova A.D.¹, Abdimomonova M.M.¹

¹Taraz Regional University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

The article discusses models and methods for optimizing transport and logistics systems and their elements in the context of market development, which determine a decisive role in the development of logistics. Modern theory and numerical optimization methods are a tool that allows you to make scientifically grounded decisions when driving vehicles using methods and models, quickly and with little resources and time to adapt to changes in the volume of the relevant sectors of transport services.

The article discusses a method for optimizing the mode of logistics systems using computer technologies, in order to increase the level and organization of management of transport and logistics systems with state correction. Directed graph allows you to automate the choice of the smallest way of delivery of goods in a transport network with a complex route, carried out on the basis of the calculated graph, taking into account the specified quality criterion. The paper presents an optimization algorithm for the implementation of the method and a computer calculation to reduce the time for performing transport work.

Keywords: task optimization, algorithm, transport logistics, direction graph, target function, model, quality criteria.

Кіріспе

Нарықтық қатынастардың қазіргі жағдайында жалпы Қазақстан Республикасы экономикасының да, оның жекелеген салаларының да бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етудің маңыздылығы арта түсуде. Соңғы жылдары бірқатар елдерде тауар айналымы саласында елеулі өзгерістер орын алды. Атап айтқанда, халық тұтынатын тауарларды өндіретін маңызды салалар көп. Экономикалық тәжірибеде логистика концепциясына негізделген тауарларды жеткізудің жаңа әдістері мен технологиялары қолданыла бастады. Логистиканы дамытудың объективті мүмкіндіктерін жасауда байланыс пен IT техникалық прогресс маңызды рөл атқарды. Ол тауар айналымының барлық негізгі және қосалқы процестерін жоғары деңгейде бақылауға мүмкіндік береді. Осылайша, өндіріс шығындарын, оның ішінде көлік шығындарын азайту мүмкіндіктерін іздеу жоспары алғашқы орынға шығып отыр.

Логистика – шикізат пен материалдарды өндіруші кәсіпорынға жеткізу, шикізатты, материалдарды және жартылай фабрикаттарды зауытта қайта өңдеу процесінде орындалатын тасымалдау, қоймалау және басқа да материалдық және материалдық емес операцияларды жоспарлау, ұйымдастыру, бақылау және басқару туралы ғылым болып табылады. Логистиканың кең таралған міндеттерінің бірі – логистикалық тізбектер бойынша материалдық ағындарды жылжытуды оңтайландыру. Бұл мәселені шешу сілтемелер арасындағы ең қысқа жолды іздеуді қамтиды. Математикалық бағдарламалау тұрғысынан бұл жолдың бағытталған графигінде оның берілген екі төбесі арасындағы ең кіші ұзындықты табу мәселесі болып есептеледі [1].

Зерттеу тақырыбының өзектілігі кәсіпорындардың көліктік шығындарын төмендетуге, сол арқылы олардың бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін өндірілген тауарлар үшін жүк ағындарының оңтайлы сызбасын табу қажеттілігімен анықталады. Математика курсында граф - төбелері бар шектеулі нүктелер жиынтықтары деген ұғым бар.

Төбенің кейбірі граф қыры деген сызықтармен байланысады. Граф объектісі төбелер не граф түйіндері, ал байланыс жиек ретінде анықталынады [2, 3]. Түрлі қосымшалар үшін графтардың түрлері бағдармен, байланыстар санына шектеулермен және төбелер мен жиектер туралы қосымша мәліметтермен ерекшеленуі мүмкін. Қыры ғана қамтылатын графты – бағдарланбаған деп, ал тек доғасы қамтылатындарды бағдарланған граф деп атаймыз. Әртүрлі екі төбені қосатын тізбек болатын графты – байланысқан граф болады. Осындай графтің жол ұзындығы осы жолды құрайтын доғалардың ұзындықтарының қосындысы деп аталады [4].

Графиктің берілген төбелерінен басқаларына дейінгі ең қысқа жолды табу мәселесін шешудің тиімді алгоритмдерінің бірі-Дейкстра алгоритмі болып табылады. Дейкстра алгоритмі голланд ғалымы Эдгер Дейкстраның атымен аталған. Алгоритм 1959 жылы бағытталған өлшенген графта бір шыңнан барлық басқаларға дейінгі ең қысқа жолдарды табу үшін арналады және графиктің барлық төбелерінің теріс емес салмақтары болған жағдайда ұсынылады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы көліктік логистика мәселелерін шешуде графиктер бойынша құрылған оңтайландыру модельдерін пайдаланудың синтезінде жатыр.

Зерттеу әдістемесі

Көлік шығындарын оңтайландыру міндеті жүктерді жөнелту пункттерінен тұтыну пункттеріне дейін тасымалдаудың оңтайлы жоспарын табу болып табылады, бұл ең аз шығындармен ең қысқа қашықтықтарды табу қажеттілігін білдіреді. Тығыз тармақталған жолдар желісінде бастапқы және межелі нүктелер арасында хабарламалардың бірнеше нұсқасы болған кезде мұндай жолды анықтау қиын болуы мүмкін. Мәселенің оңтайлы нұсқасын табу үшін жүктердің жөнелтілетін және тағайындалған пункттері арасындағы көліктік байланыстарды көрсететін бастапқы ақпарат ретінде көлік желісін пайдалануға негізделген математикалық модельдер қолданылады. Барлық математикалық объектілердің ішінде графтар нақты жүйелердің формальды модельдері ретінде бірінші орындардың бірін алады.

Граф дегеніміз график төбелері деп аталатын нүктелердің шектеулі санының және осы төбелердің кейбірін жұппен қосатын сызықтардың, граф жиектері немесе доғалары деп аталатын жиыны. Оңтайландыру есептерін шешуде графиктік модельдерді қолдану сипатталған объектілердің көрнекілігі мен мазмұнын сақтайды және компьютерде оңай өңделетін осы модельдерді өндеудің формальды алгоритмдерін құруға мүмкіндік береді. Осылайша, көлік желілерін граф түрінде көрсету ыңғайлы. Көлік желісі жол желісінің тиісті тасымалдауды ұйымдастыруға болатын бөлігін ғана ескереді, яғни көшелердің (жолдардың) жай-күйіне, бір жақты қозғалысқа шектеулер, жүк көлігінің қозғалысына шектеулер, көлік құралының жалпы салмағы, осьтік жүктеме және басқалары бойынша есепке алынады. Бұл мәселені шешудің бірнеше жолы бар – бұл, ең алдымен Дейкстра әдісі, барлық Гамильтон циклдерін табу әдісі, ең жақын көршілес алгоритм (Nva), құмырсқалар колониясының алгоритмі, жасыту модельдеу әдісі және т.б. Олардың кейбіріне толығырақ тоқталайық Дейкстра әдісі - граф бойынша тасымалдау мәселесін шешудің ең дәл және сонымен бірге қарапайым әдісі, А төбесінен В нүктесіне дейінгі ең қысқа қашықтықты анықтаудың қадамдық алгоритмі.

Дейкстра алгоритмінің идеясы келесідей. Графиктің әр төбесіне белгі (потенциал) - осы төбеден бастапқы төбеге дейінгі белгілі ең кіші арақашықтық тағайындалады. Алгоритм біртіндеп жұмыс істейді - әр қадамда бір төбеге «барады» және потенциалды азайтуға тырысады. Алгоритм барлық төбелерге барғанда аяқталады. а төбенің потенциалы 0 – ге, қалған шыңдардың потенциалы шексіздікке тең деп есептеледі. Бұл а-дан басқа төбелерге дейінгі қашықтық әлі белгісіз екенін көрсетеді. Графтың барлық төбелері қатыспаған деп белгіленген. Егер барлық төбелерге кірсе, алгоритм аяқталады [5-9].

Алгоритмнің қадамдарын қарастырайық.

Қадам 1. Ең қысқа қашықтықты анықтау қажет төбеге нөлге тең потенциал беріледі. Бастапқы төбелердің v_i потенциалы бар, ал j соңғыда жоқ сілтемелер ізделеді. v_j соңғы төбелердің потенциалдарының мәні формула бойынша анықталады:

$$v_j = v_i + C_{ij}, \quad (1)$$

мұндағы $C_{ij} - (i, j)$ байланыстың ұзындығы.

Қадам 2. Егер j төбенің потенциалы анық емес анықталса, есептеулерде v_j ең кіші мәнін қалдырады. Барлық алынған есептеулер мен төбелерге меншіктелген потенциалдардың ішінен ең кішісі таңдалады. Оның мәні соңғы төбеге беріледі.

Қадам 3. (i, j) доғасы бағыттаушымен белгіленеді. Әрекеттер 1-қадамнан бастап барлық төбелерге потенциалдар берілгенге дейін қайталанатын. Тиісті төбенің потенциалының мәні осы нүктеге дейінгі ең қысқа қашықтықты көрсетеді. Бағыттаушы бар сілтемелер бастапқы төбеден басқаларына дейін ең қысқа қозғалыс бағытын құрайды. Графиктің әр төбесін кезекпен алып, берілген алгоритм бойынша есептеулер жүргізе отырып, ең қысқа қашықтықтардың матрицасы алынады. Матрицаның бір жолы бір төбеден басқаларына дейінгі ең қысқа қашықтыққа сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижесі

Дейкстра алгоритмін мысал арқылы қарастырамыз [10]. Әрбір қабырғасы рентабельділік критерийімен салыстырылады, ол тек жұмсалған уақытпен ғана емес, сонымен қатар оңтайлы тасымалдау нұсқасы мәселесін шешу кезінде қол жеткізуге тиіс мақсатпен анықталады. Көбінесе ең аз жалпы жүгіріс критерий ретінде қабылданады, өйткені маршруттың барлық учаскелеріндегі бірдей қозғалыс жағдайында жүгіріс тұрғысынан оңтайлы жоспар уақыт пен шығын тұрғысынан оңтайлы болады. Сонымен қатар, рентабельділік критерийі ретінде жолдардың ақылы немесе кептелісі, елді

мекендердің осы жолын кесіп өту жиілігі және т.б көрсеткіштерді де қолдануға болады. Графті құру кезінде төбелердің ұтымды санын таңдау керек. Бір жағынан, шындардың саны мүмкіндігінше көп болуы керек. Екінші жағынан, шындардың саны неғұрлым көп болса, көлік желісі соғұрлым қиын болады, ал ең қысқа қашықтықтарды анықтау көп уақытты алады.

Көлік желісіндегі іргелес нүктелер арасындағы қашықтық 1-ші суретте көрсетілгендей белгілі. 1-ші пункттен 10-ші пунктке өтудің ең қысқа жолын табу қажет.

1-ші кезең. Бастапқы төбеге 0 потенциалы беріледі: $v_1 = 0$.

2-ші кезең. 1-ші төбеге қатысты аяқталатын төбелердің потенциалдарын анықтау.

$$v_2 = v_1 + c_{12} = 0 + 8 = 8.$$

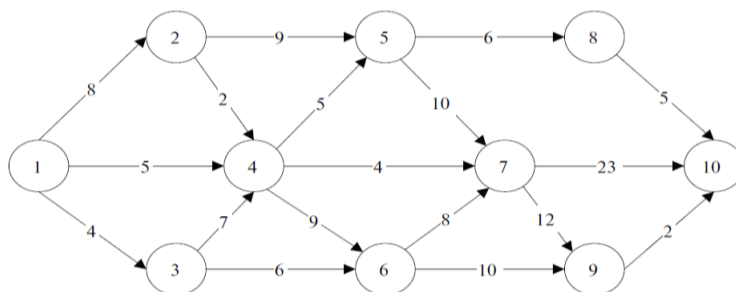
$$v_3 = v_1 + c_{13} = 0 + 4 = 4.$$

$$v_4 = v_1 + c_{14} = 0 + 5 = 5.$$

Меншіктелген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_2, v_3, v_4) = v_3 = 4$. 3-ші төбеге 4-ке тең ең қысқа қашықтық мәні беріледі.

3-ші кезең. 3-ші төбе бастапқы ретінде алынады: $v_4 = v_3 + c_{34} = 4 + 7 = 11$. $v_6 = v_3 + c_{36} = 4 + 6 = 10$.

4-ші төбенің потенциалы екі рет анықталды, есептеулерде ең аз қалдырылады: $v_4 = 5$. 3-ші кезеңде алынған v_4 мәні сызылып тастайды. Меншіктелмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_2, v_4, v_6) = v_4 = 5$.



Сурет 1. Жол маршруты, км.

4-ші кезең. Бастапқы ретінде 4-ші төбе алынады:

$$v_5 = v_4 + c_{45} = 5 + 5 = 10;$$

$$v_6 = v_4 + c_{46} = 5 + 9 = 14;$$

$$v_7 = v_4 + c_{47} = 5 + 7 = 12.$$

6-ші төбенің потенциалы екі рет анықталды, есептеулерде ең кішісін қалдырады: $v_6 = 10$. 4-ші кезеңде алынған v_6 мәні сызылып тастайды. Потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_2, v_5, v_6, v_7) = v_2 = 8$.

5-ші кезең. Бастапқы ретінде 2-ші төбе алынады: $v_5 = v_2 + c_{25} = 8 + 9 = 17$.

5-ші төбенің потенциалы екі рет анықталады, есептеулерде ең кішісі қалдырылады: $v_5 = 10$. 5-ші кезеңде алынған v_5 мәні сызылып тастайды. Меншіктелмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_5, v_6, v_7) = v_5 = 10$.

6-ші кезең. Бастапқы ретінде 5-ші төбе алынады: $v_7 = v_5 + c_{57} = 10 + 10 = 20$; $v_8 = v_5 + c_{58} = 10 + 6 = 16$.

Меншіктелмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_6, v_7, v_8) = v_6 = 10$.

7-ші кезең. Бастапқы ретінде 6-ші төбе алынады: $v_7 = v_6 + c_{67} = 10 + 8 = 18$; $v_9 = v_6 + c_{69} = 10 + 10 = 20$.

7-ші төбенің потенциалы екі рет анықталады, есептеулерде ең кішісі қалдырылады: $v_7 = 12$. 7-ші кезеңде алынған v_7 мәні сызылып тастайды. Меншіктелмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_7, v_8, v_9) = v_7 = 12$.

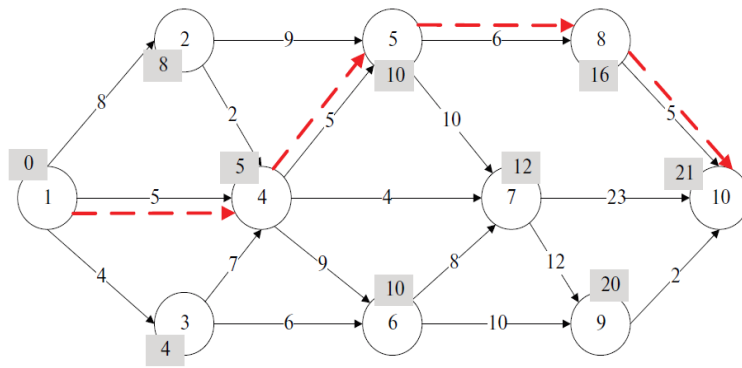
8-ші кезең. Бастапқы ретінде 7-ші төбе алынады: $v_9 = v_7 + c_{79} = 12 + 12 = 24$; $v_{10} = v_7 + c_{710} = 12 + 23 = 35$.

9-ші төбенің потенциалы екі рет анықталады, есептеулерде ең кішісі қалдырылады: $v_9 = 20$. 8-ші кезеңде алынған v_9 мәні сызылып тастайды. Меншіктелмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_8, v_9, v_{10}) = v_8 = 16$.

9-ші кезең. Бастапқы ретінде 8-ші төбе алынады: $v_{10} = v_8 + c_{810} = 16 + 5 = 21$.

Игерілмеген потенциалдардың ең кішісін таңдау: $\min(v_9, v_{10}) = v_9 = 21$.

10-ші төбенің потенциалы екі рет анықталады, есептеулерде ең кішісі қалдырылады: $v_{10} = 21$. 8-ші кезеңде алынған v_{10} мәні сызылып тастайды. Сонымен, 10-ші төбенің потенциалы меншіктелген, 1-ші төбеден 10-ші төбеге дейінгі ең қысқа қашықтық 21 км-ге тең. Потенциалдарды тағайындаудың графикалық бейнеленуі және графтағы ең қысқа жолды есептеу 2-ші суретте көрсетілген.



Сурет 2. Жүрудің ең қысқа қашықтығының графикалық көрінісі

Ең қысқа жолды табу тапсырмасын MS Excel-де «Шешім іздеу» қосымшасының көмегімен де шешуге болады. Ол үшін ең қысқа жолды табатын граф құрылымын көрсететін модель құру қажет. Жоғарыдағы мысал үшін осы процедураларды қарастырайық [11].

Дискуссия

Есептің математикалық моделін құрайық. $i < j$ (шарт қабырғаның дұрыс нөмірленуін көрсетеді) болған кезде, i - желінің әрбір алдыңғы төбесі, j - әрбір келесі төбесі болсын;

c_{ij} - әр қабырғаның (мәндері граф қабырғаларында көрсетілген) ұзындығы. Қажетті жолға кіретін доғалар ұзындықтарының қосындысы минималды болатындай етіп бастапқы $i = 1$ төбесінен $j = 10$ соңына дейінгі жолды табу керек.

x_{ij} айнымалысын енгізейік:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{егер } ij \text{ қабырғасы ізделініп отырған қысқа жолға кірсе,} \\ 0, & \text{егер } ij \text{ қабырғасы ізделініп отырған қысқа жолға кірмесе} \end{cases} \quad (2)$$

бұл жағдайда графикте ij доғасы болмаса $x_{ij} = 0$ деп санаймыз.

Сонда максаттық функция келесідей болады:

$$\sum_i^n \sum_j^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \text{ сызықтық шектеулер есебінде } i < j \text{ кезінде} \quad (3)$$

Графтің құрылымын көрсететін шектеулерді қарастырайық.

1. Шарт бойынша қажетті жол $i = 1$ төбесінен басталатын болғандықтан, оған бастапқы төбеден шығатын доғалардың бірін қосу керек. Сонымен, бірінші шектеу:

$$\sum_{j=2}^{10} x_{1j} = 1, \quad (4)$$

есеп үшін бұл шектеу келесідей көрінеді: $x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1$ (яғни, бастапқы төбеден шығатын барлық қабырғалардың «белгілерінің» қосындысы 1-ге тең).

2. Сол сияқты, ізделініп отырған жол 10-ші төбеде аяқталады, оған алдыңғы төбелерден шығатын қабырғалардың бірі кіруі керек. Сонымен, екінші шектеу:

$$\sum_{i=1}^9 x_{i10} = 1, \quad (5)$$

есеп үшін бұл шектеу келесідей көрінеді: $x_{810} + x_{710} + x_{910} = 1$ (яғни соңғы төбеге кіретін барлық қабырғалардың «белгілерінің» қосындысы 1-ге тең).

3. Қалған шектеулер ізделінген жол кез-келген төбеден өте алатындай етіп қалыптасады (бастапқы және соңғы кездері ескерілген). Оның үстіне, егер ізделінген жол төбеге кірсе, онда ол одан шығуы керек: төбеге кіретін қабырғалар саны одан шығатын қабырғаларға тең, ал бұл сандардың айырымы нөлге тең. Мұндай шектеулердің саны бастапқы және соңғы төбелерді қоспағанда, граф төбелерінің санына тең.

Біздің график үшін қалған шындықтарға арналған шектеулер келесідей:

$x_{12} - x_{24} - x_{25} = 0$ (яғни екінші төбеден шығатын қабырғалардың «белгілерін» алып тастап, екінші төбеге кіретін қабырғалардың «белгілері» нөлге тең);

$x_{13} - x_{34} - x_{36} = 0$ (3-ші төбесі үшін);

$x_{14} + x_{24} + x_{34} - x_{45} - x_{46} - x_{47} = 0$ (4-ші төбе үшін).

5-ші– 9-ші төбелеріне арналған шектеулер дәл осылай жазылған [12].

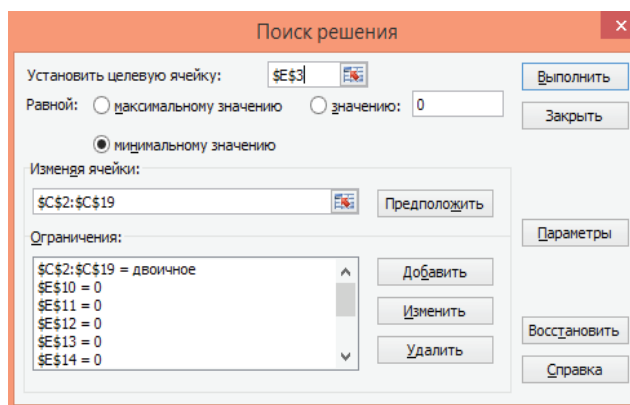
MS Excel ортасына 3-ші суретке сәйкес модельді орналастырамыз.

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-------|--------------------|-----|---|---|------------------------|
| 1 | Ребро | Расстояние, км Cij | Xij | | | |
| 2 | 1--2 | 8 | 0 | | Критериальная функция | |
| 3 | 1--3 | 4 | 0 | | =СУММПРОИЗВ(B2:B19;C2:C19) | |
| 4 | 1--4 | 5 | 0 | | | |
| 5 | 2--4 | 2 | 0 | | Ограничения для начальной и конечной вершин | |
| 6 | 2--5 | 9 | 0 | | =C2+C3+C4 | начальная вершина, i=1 |
| 7 | 3--4 | 7 | 0 | | =C19+C18+C17 | конечная вершина, j=10 |
| 8 | 3--6 | 6 | 0 | | | |
| 9 | 4--5 | 5 | 0 | | Ограничения для остальных вершин | |
| 10 | 4--6 | 9 | 0 | | =C2-C5-C6 | вершина 2 |
| 11 | 4--7 | 4 | 0 | | =C3-C7-C8 | вершина 3 |
| 12 | 5--7 | 10 | 0 | | =C4+C5+C7-C9-C10-C11 | вершина 4 |
| 13 | 5--8 | 6 | 0 | | =C6+C9-C12-C13 | вершина 5 |
| 14 | 6--7 | 8 | 0 | | =C8+C10-C14-C15 | вершина 6 |
| 15 | 6--9 | 10 | 0 | | =C11+C12+C14-C16-C17 | вершина 7 |
| 16 | 7--9 | 12 | 0 | | =C13-C18 | вершина 8 |
| 17 | 7--10 | 23 | 0 | | =C15+C16-C19 | вершина 9 |
| 18 | 8--10 | 5 | 0 | | | |
| 19 | 9--10 | 2 | 0 | | | |
| 20 | | | | | | |

Сурет 3. MS Excel-де деректерді енгізу

Әрі қарай, «Шешім іздеу» кондырмасында мақсат функциясы мен шектеулер құрылымын 4-ші суретке сәйкес орнату керек.

«Мақсатты ұяшықты орнату» бағанында критерий функциясы бар ұяшыққа сілтеме көрсетіледі, оның мәні минимумға тең болады. Өзгертілетін ұяшықтар - x_{ij} айнымалылар диапазоны. Шектеу - бастапқы және соңғы төбелер үшін 1-ге, қалғандары 0-ге тең, сонымен қатар шектеулер x_{ij} (ізделетін айнымалылар 0 немесе 1 мәнін қабылдау үшін) айнымалыларының диапазоны үшін «екілік мәндерді» орнатады.



Сурет 4. «Поиск решения» терезесіндегі шектеулерді енгізу

Келтірілген мысалдың шешімінің нәтижесі 5—ші суретте көрсетілген.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-------|--------------------|-----|---|---|--------------------------|---|---|
| 1 | Ребро | Расстояние, км Cij | Xij | | | | | |
| 2 | 1--2 | 8 | 0 | | Критериальная функция | | | |
| 3 | 1--3 | 4 | 0 | | | 21 | | |
| 4 | 1--4 | 5 | 1 | | | | | |
| 5 | 2--4 | 2 | 0 | | Ограничения для начальной и конечной вершин | | | |
| 6 | 2--5 | 9 | 0 | | | 1 начальная вершина, i=1 | | |
| 7 | 3--4 | 7 | 0 | | | 1 конечная вершина, j=10 | | |
| 8 | 3--6 | 6 | 0 | | Ограничения для остальных вершин | | | |
| 9 | 4--5 | 5 | 1 | | | 0 вершина 2 | | |
| 10 | 4--6 | 9 | 0 | | | 0 вершина 3 | | |
| 11 | 4--7 | 4 | 0 | | | 0 вершина 4 | | |
| 12 | 5--7 | 10 | 0 | | | 0 вершина 5 | | |
| 13 | 5--8 | 6 | 1 | | | 0 вершина 6 | | |
| 14 | 6--7 | 8 | 0 | | | 0 вершина 7 | | |
| 15 | 6--9 | 10 | 0 | | | 0 вершина 8 | | |
| 16 | 7--9 | 12 | 0 | | | 0 вершина 9 | | |
| 17 | 7--10 | 23 | 0 | | | | | |
| 18 | 8--10 | 5 | 1 | | | | | |
| 19 | 9--10 | 2 | 0 | | | | | |

Сурет 5. MS Excel де қысқа жол нәтижесін іздеу нәтижесі

Осылайша, қарастырылған граф үшін ең қысқа жол: 1 - 4 - 5 - 8 - 10, ол MS Excel кестесінің «C» бағанында бірліктермен белгіленеді, бұл ретте жолдың ең кіші ұзындығы 21 км жетеді.

Қорытынды

Бағытталған графты оңтайландыру есептерінде Дейкстра алгоритмін логистикалық жүйелердегі ең қысқа маршруттарды анықтау кезінде модельді автоматтандыруға мүмкіндік беретін компьютерлік модель жасалды. Қарастырылып отырған ең қысқа жолды құрайтын қабырғалардың реттілігін анықтайтын рекурсивті процедура негізінде итерациялық модель ұсынылды. Теңдеулерге негізделген технологиялық есептеулерді орындау үшін, графикалық төбелердің уақытша және тұрақты белгілері түрінде енгізілді, бұл есептеулер үшін MS Excel-ді қолданды.

Ұсынылған процедураның дұрыстығы мен тиімділігі жағдай векторының өлшемі $n = 9$ болатын ықтимал нұсқаларды толық талдаумен ең қысқа жолдарды есептеуді автоматтандырудың нақты мысалы қарастырылды. MS Excel ортасында жасалған оңтайландыру есептері көлік логистикалық жүйелерді автоматтандыру үшін ғана емес [13], сонымен қатар пакеттік деректер телекоммуникация жүйелерінде, маршруттық карталарын оңтайландыру жүйелерінде қолдануға болады [14, 15], сондай-ақ басқа да әртүрлі мақсаттарға арналған жоғары өлшемді автоматтандыру мен басқару жүйелерінде қолдануға болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Le Q.M. Multiple covering of a closed set on a plane with non-Euclidean metrics / A.A. Lempert, Q.M. Le // IFAC-PapersOnLine. - 2018. - Vol. 51, No. 32. -P. 850-854. DOI: [10.1016/j.ifacol.2018.11.439](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.439)
- 2 Le Q.M. An algorithm for packing circles of two types in a fixed size container with Non-Euclidean metric / A.L. Kazakov, A.A. Lempert, Q.M. Le // CEUR-Workshop Proceedings. - 2017. - Vol. 1975. - P. 281-292.
- 3 Zhidekulova G. Abduvalova A. Irrigation management in Kazakhstan using a Delphi-based software / Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics, 21(5): 2020, Page: 1777-1805. ISSN: 1018-7081
- 4 Bronshtein E.M., Gindullin R.V. Exact solutions of some optimization problems of transport logistics. Math Models Comput Simul 6, 332–336 (2014). DOI doi.org/10.1134/S2070048214030053
- 5 GARCIA-CACERES, Rafael Guillermo; TRUJILLO-DIAZ, Johanna and MENDOZA, Diego. Decision structure for transport logistic problem. Revista Investig. Desarro. Innov. [online]. 2018, vol.8, n.2, pp.321-331. ISSN 2027-8306. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7970>.
- 6 Rustem E., Yestaev K., Abdimotynova M., Abduvalova A., Tassybayev A. Study of new designs of spillway channels with artificial roughness //Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2021, 9(4), -P. 117–133 DOI: 0.21533/pen.v9i4.2303
- 7 Абдувалова А.Д., Искакбаева Ж. Шешім қабылдауды қолдау үшін білім беру мәліметтерін интеллектуалды талдау әдістері //Механика және технология: ғылыми-әдістемелік журнал. – Тараз қ., 2016. №2, Б.50-55.
- 8 Абдувалова А.Д., Шабден А. Көлік инфрақұрылымында ақпараттық логистикалық жүйелердің математикалық моделі //Механика және технология: ғылыми-әдістемелік журнал. –Тараз қ. 2016. №2. Б.55-61.

9 Crauser A., Mehlhorn K., Meyer U., and Sanders P. "A Parallelization of Dijkstra's Shortest Path Algorithm" *Proceedings of Mathematical Foundations of Computer Science / Lecture Notes in Computer Science*, 1450: 722–31, Berlin, Heidelberg: Springer, 1998. DOI: 10.1007/BFb0055823.

10 Нуримбетов А.У. Сандық әдістер / Оқу құралы. Алматы: «Отан» баспасы. – 2014. - 150 б.

11 Абдувалова А.Д., Шабден А. Көлік инфрақұрылымында ақпараттық логистикалық жүйелерді жобалау және пайдалану // М.Х. Дулати ат. ТарМУ Хабаршысы «Табиғатты пайдалану және антропосфера мәселелері». Тараз, 2016.-№4. Б. 177-183

12 Абдимомынова М.М., Абдувалова А.Д., Есеналиева М.Қ. Автокөліктің пайдаланылған газдарымен атмосфералық ауаның ластану деңгейін бағалау (СО концентрациясы бойынша) IX Халықаралық ғылыми-әдістемелік конференция материалдары. – Алматы: Абай ат.ҚазҰПУ, «Ұлагат» баспасы, 2020. Б. 14-17.

13 Кусмухамбетов Е.М., Туреханова Г.И. Кәсіптік компьютерлік бағдарламалар. Учебное пособие. -Тараз: Тараз университеті. -2015.

14 Боранкулова Г.С. Socio-economic aspects of information and communication technology development // Вестник КазНПУ, № 2 (138), 2020.

15 Адольф К.А. Проблемы оптимизации процесса грузоперевозок // Логистические системы в глобальной экономике: материалы Междунар. науч.- практ. конф. (3-4 марта 2014 г.). Вып. 1 / Сибир. гос. аэрокосмический ун-т. Красноярск, 2014. С. 318–324

References:

1 Le Q.M. Multiple covering of a closed set on a plane with non-Euclidean metrics / A.A. Lempert, Q.M. Le // *IFAC-PapersOnLine*. - 2018. - Vol. 51, No. 32. -P. 850-854. DOI: [10.1016/j.ifacol.2018.11.439](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.439)

2 Le Q.M. An algorithm for packing circles of two types in a fixed size container with Non-Euclidean metric / A.L. Kazakov, A.A. Lempert, Q.M. Le // *CEUR-Workshop Proceedings*. - 2017. - Vol. 1975. - P. 281-292.

3 Zhidekulova G. Abduvalova A. Irrigation management in Kazakhstan using a Delphi-based software / *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, 21(5): 2020, Page: 1777-1805. ISSN: 1018-7081

4 Bronshtein E.M., Gindullin R.V. Exact solutions of some optimization problems of transport logistics. *Math Models Comput Simul* 6, 332–336 (2014). DOI doi.org/10.1134/S2070048214030053

5 [GARCIA-CACERES, Rafael Guillermo; TRUJILLO-DIAZ, Johanna and MENDOZA, Diego](https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7970). Decision structure for transport logistic problem. *Revista Investig. Desarro. Innov.* [online]. 2018, vol.8, n.2, pp.321-331. ISSN 2027-8306. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7970>.

6 Rustem E., Yestaev K., Abdimomynova M., Abduvalova A., Tassybayev A. Study of new designs of spillway channels with artificial roughness // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2021, 9(4), -P. 117–133 DOI: 0.21533/pen.v9i4.2303

7 Abduvalova A.D., Iskakbaeva Zh. (2016) Sheshim kabyldaudy koldau ushin bilim beru malimetterin intellectuals taldau adisteri [Methods of intellectual analysis of educational data to support decision-making] *Mechanics zhane technology: gylymy-adistemelik journal*. Tараз q. №2, ISSN 2308-9865, 50-55. (In Kazakh)

8 Abduvalova A.D., Shabden A. (2016) Kolik infrakurylymynda akparattyk logistikalyk zhyyelerdin mathematical modeli [Mathematical model of information logistics systems in transport infrastructure] *Mechanics zhane technology: gylymy-adistemelik journal*:-Tараз №. 2., 55-61. (In Kazakh)

9 Crauser A., Mehlhorn K., Meyer U., and Sanders P. "A Parallelization of Dijkstra's Shortest Path Algorithm" *Proceedings of Mathematical Foundations of Computer Science / Lecture Notes in Computer Science*, 1450: 722–31, Berlin, Heidelberg: Springer, 1998. DOI: 10.1007/BFb0055823.

10 Nurimbetov A.U. (2014) Sandyk adister [Numerical methods]. Оқу куралы. Алматы: "Отан" баспасы. 2014. 150. (In Kazakh)

11 Abduvalova A.D., Shabden A. (2016) Kolik infrakurylymynda akparattyk logistikalyk zhyyelerdi zhibalau zhane paydalanu [Design and operation of information and logistics systems in the transport infrastructure]. M.Kh.Dulati atyn. Tarmu Khabarshysy "Tabiqatty paidalanu zhane anthroposphere maseleleri". Tараз, 2016. №4. 177-183. (In Kazakh)

12 Abdimomynova M.M., Abduvalova A.D., Esenalieva M.K. (2020) Avtokoliktin pajdalanylghan gazdarymen atmosferalyk auanyn lastanu dengejin bagalau (SO koncentracijasy bojnynsha) [Estimation of the level of air pollution by exhaust gases from vehicles (by CO concentration)]. IX Kalykaralyk gylymy-adistemelik konferencija materialdary. Алматы: Abaj atyndagy KazUPU, «Ulagat» baspasy, 2020. 14-17. (In Kazakh)

13 Kusmuhambetov E.M.Turehanova G.I. (2015) Kasiptik komp'juterlik bagdarlamalar [Professional computer programs]. Uchebnoe posobie. Tараз:Tараз universiteti. (In Kazakh)

14 Borankulova G.S. (2020) Socio-economic aspects of information and communication technology development // *Vestnik KazNITU*, № 2 (138).

15 Adol'f K.A. (2014) Problemy optimizacii processa gruzoperevozok [Problems of optimization of transportation's process]. *Logisticheskie sistemy v global'noi ekonomike: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Vol. 1. An electronic collection of Siberian state aerospace University, 318– 324. (In Russian).

А. Бакыт¹, Е.С. Смагулов¹, С.Б. Маден¹, Д.М. Жексебай^{1*}, Е.Т. Кожазулов¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: zhexebay92@gmail.com

ГОЛОСОВОЙ ПОМОЩНИК НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

С развитием интерфейсных технологий в смарт-устройствах голосовые помощники быстро завоевали популярность. Эти помощники предназначены для использования голосовых команд, чтобы обеспечить более удобное взаимодействие с людьми. В связи с этим предлагается один из методов реализации голосового помощника на основе нейронных сетей. Исследованы методы реализации основных этапов создания голосового помощника. В статье представлены результаты тестирования модели на основе сверточной нейронной сети. В качестве речевых команд были выбраны следующие слова: yes, no, up, down, right, left, go, stop. Эта модель классифицирует 8 речевых команд с точностью 86,63%. Модель нейронной сети лучше всего классифицировала команды: yes, up, down, right, left, stop. Для команды go точность 66,67%, а no - 76,4%, это связано со схожим звучанием слов down, go, no.

Ключевые слова: голосовой помощник, распознавания речи, преобразования звукового сигнала, распознавания команд, сверточная нейронная сеть.

Аңдатпа

Ә. Бақытқызы¹, Е.С. Смағұлов¹, С.Б. Мәден¹, Д.М. Жексебай^{1*}, Е.Т. Кожазулов¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ТЕРЕҢ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕГІ ДАУЫС КӨМЕКШІСІ

Смарт құрылғылардағы интерфейстік технологиялардың дамуымен дауыстық көмекшілер тез танымал болды. Бұл көмекшілер адамдармен ыңғайлы әрекеттесу үшін дауыстық пәрмендерді пайдалануға арналған. Осыған байланысты нейрондық желілерге негізделген дауыстық көмекшіні енгізу әдістерінің бірі ұсынылды. Дауыстық көмекші құрудың негізгі кезеңдерін жүзеге асыру әдістері зерттелді. Мақалада үйірткілі нейрондық желіге негізделген модельді тестілеу нәтижелері берілген. Сөйлеу пәрмені ретінде мына сөздер таңдалды: yes, no, up, down, right, left, go, stop. Бұл модель 86,63% дәлдікпен 8 сөйлеу пәрменін жіктейді. Нейрондық желі моделі ең жақсы жіктелген командалар: yes, up, down, right, left, stop. Go командасының дәлдігі 66,67%, ал no - 76,4%, бұл down, go, no сөздерінің ұқсас дыбысталуына байланысты.

Түйін сөздер: дауыстық көмекші, сөйлеуді тану, аудио сигналды түрлендіру, командаларды тану, үйірткілі нейрондық желі.

Abstract

DEEP LEARNING VOICE ASSISTANT

Bakytkyzy A.¹, Smagulov Y.S.¹, Maden S.B.¹, Zhexebay D.M.¹, Kozhagulov Y.T.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

With the development of interface technologies in smart devices, voice assistants quickly gained popularity. These assistants are designed to use voice commands to provide a more convenient interaction with people. In this regard, one of the methods for implementing a voice assistant based on neural networks is proposed. Methods for implementing the main stages of creating a voice assistant have been studied. The article presents the results of testing a model based on a convolutional neural network. The following words were chosen as speech commands: yes, no, up, down, right, left, go, stop. This model classifies 8 speech commands with an accuracy of 86.63%. The neural network model best classified commands: yes, up, down, right, left, stop. The command to go is 66.67% accurate, and no is 76.4%, this is due to the similar sounding of the words down, go, no.

Keywords: voice assistant, speech recognition, audio signal conversion, command recognition, convolutional neural network.

Введение

Голосовой пользовательский интерфейс и технологии распознавания речи вошли в жизнь людей относительно недавно и с тех пор стали незаменимыми. Разработка этих систем – сложная задача, так как требует знания правил определенного языка программирования, технологий преобразования речи, а также вычислительной точности и эффективности при обработке голосовой информации.

Одним из основных принципов интеллектуальных голосовых помощников, особенно с учетом их естественности и простоты, является их способность к обучению и адаптации. Эта распространенность достигается в самых разных сферах, таких как управление умным домом, мобильная помощь или операционные системы. Основными причинами этого являются естественность речи как формы общения в отличие от использования дополнительной внешней периферии и, кроме того, независимость от дополнительного обучения на основе одного приложения. Одна из причин необходимости разработки новых систем, концепций и алгоритмов обработки голоса заключается в том, что голосовое взаимодействие становится более удобным средством управления SMART технологиями. Кроме того, это отличный шанс проявить себя как предприниматель в бизнес сфере, в связи с растущим спросом данной технологии.

А также, это чрезвычайно актуально для людей с ограниченными возможностями, так как данная технология предоставляет возможность облегчить рутинные занятия. Частичная потеря голоса или ее особенности являются основными препятствиями распознавания речи для людей с ограниченными возможностями. Современные системы распознавания речи не могут быть адаптированы к индивидуальным особенностям указанных людей, что мешает им использовать эти системы. Способ преодоления этого препятствия – создание обучаемых зависимых от говорящего систем на основе искусственных нейронных сетей. Основой голосового помощника является распознавание речи, которая включает в себя очень много процессов. На данный момент, существуют очень много систем распознавания речи. Все системы распознавания речи относятся к двум категориям. Первая категория - это системы, зависящие от говорящего, которые в процессе обучения подстраиваются под его речь. Эти системы требуют полной перенастройки для работы с другим говорящим. Данная категория систем зависит от голосовых данных говорящего. Системы, зависящие от одного говорящего, обеспечивают эффективное распознавание голоса, хотя настройка системы для каждого отдельного пользователя является довольно трудоемкой задачей. Индивидуальные особенности произношения (такие как темп речи, тембр и т. д.) усложняют разработку этих систем [1].

В настоящее время разработчики больше сосредоточены на создании систем, не зависящих от говорящего, которые используют огромные объемы данных и не принимают во внимание то, как люди с нарушениями речи произносят команды. Как пример отличного голосового помощника можно отметить, Siri от Apple, Google Assistant, Amazon Alexa и Алиса. Данные мировые бренды помогают разработчикам получить бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, что дает возможность дорабатывать и адаптировать их для различных ситуаций. Самыми популярными системами с открытым исходным кодом являются CMU Sphinx, Julius, Kaldi, RWTH ASR, iATROS.

В большинстве случаев (например, как Google и Яндекс) распознавание голоса осуществляется алгоритмами, основанными на наборе данных говорящих, которые по-разному произносят слова правильно. Создание инструмента, который распознает относительно ограниченный набор команд, при этом неважно, может ли пользователь произносить слова правильно, поскольку его речь может быть непонятной и нечеткой. Чтобы распознать ограниченный набор команд, можно использовать классический многослойный перцептрон или сверточную нейронную сеть с дополнительными сверточными и объединяющими слоями. Такие сети доказали свою эффективность в распознавании тестовых данных, но для них требуется сравнительно большое количество обучающих данных [2-4].

Другой способ распознавания речи с помощью искусственных нейронных сетей – это рекуррентные нейронные сети. В этих структурах имеется обратная связь, которой выход одного нейрона влияет на другие. В рамках данного исследования большой интерес представляет ассоциативная память, предназначенная для распознавания образов. На вход сети поступает ряд векторов признаков, которые формируют определенные состояния сети. После получения нового вектора признаков, сеть перейдет в состояние, напоминающее один из запомненных векторов, наиболее похожее на новый [5]. Самым простым в реализации ассоциативной памятью, которая сравнивается с обучающей выборкой, является сеть Хопфилда, которая в исходном состоянии имеет довольно ограниченный объем памяти [6]. Ассоциативная память получила дальнейшее развитие в трехслойной сети Хэмминга и двунаправленной автоассоциативной сети Коско.

Некоторые исследования предполагают динамическую ассоциативную память, которая повторно измеряет веса не только во время обучения, но и в качестве реакции на ввод. Эта сеть используется для распознавания звукового сигнала голосовых команд [7].

Комбинированное использование многослойных сетей с прямой связью и рекуррентных сетей имеет большое значение во время обучения. Согласно исследованию, для использования ассоциативной памяти на основе многослойного персептрона и связанной рекуррентной сети при распознавании шумной речи предлагается многослойная сеть с полиномиальными функциями активации для распознавания образцов [8]. Первоначально, сети с ассоциативной памятью использовались для хранения рядов нулей и единиц. Однако аудиоинформация более сложна и необходимо хранить значения с плавающей запятой в диапазоне от 0 до 1, поэтому предлагается использовать сеть Хопфилда с дополнительным слоем нейронов [9]. В самоорганизующихся сетях, согласно правилам конкуренции, активация набора параметров определяет нейрон-победитель, который соответствует этому набору. Это позволяет разбить входные данные на кластеры и выделить каждый новый вектор в свою категорию. Ученые предлагают самоорганизующуюся инкрементную нейронную сеть на основе искусственной нейронной сети для распознавания как изображений, так и голосовых команд [10]. Так же стоит отметить, обучение нейронной сети непосредственно на звуковом сигнале неэффективно. Поэтому, исследователями данной технологии предлагаются разные методы для преобразования звукового сигнала на другой формат. Преобразование звукового сигнала является одним из важных этапов для дальнейшей обработки данных и для обучения модели. Наиболее популярными методами считаются:

1. Преобразования звукового сигнала с помощью MFCC;
2. Преобразования звукового сигнала с помощью системы LinTo.

Данные методы применяются не только для преобразования, а также, для дальнейшего обучения. Из-за особенностей восприятия звука наиболее подходящим набором функций для обработки является MFCC. Для этого весь аудиовход разбивается на кадры, каждый из которых проходит преобразования Фурье, спектры сигнала, полученные коэффициенты применяются для дискретного косинусного преобразования. Сначала необходимо записать обучающую выборку, состоящую из аудиозаписей. Записанные слова преобразуются в MFCC, и каждому набору MFCC назначается транскрипция записанного слова. После этого вектор признаков MFCC используется для обучения нейронной сети. По окончании обучения программа может работать в режиме распознавания команд [11]. Согласно исследованиям, для распознавания команд можно использовать следующие виды искусственных нейронных сетей [11]:

1. Многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями, содержащий многочисленное количество нейронов. Функции ReLu, tanh, Sigmoid с выходным слоем и функция активация SoftMax;
2. Однослойная сверточная нейронная сеть;
3. Многослойная сверточная нейронная сеть, состоящая из различных слоев: сверточной, слой подвыборки и слой полностью подключенной нейронной сети;
4. Двухнаправленная авто ассоциативная сеть Коско;
5. Самоорганизующаяся карта (карта Кохонена, SOM).

Вторым способом для создания модели, а также для преобразования звукового сигнала на другой формат является платформа на основе системы LinTO. LinTO – это клиент-серверная система с открытым исходным кодом, которая позволяет клиентам обеспечивать с голосовым пользовательским интерфейсом, которое дает возможность администраторам сопровождать программным обеспечением и управлять аппаратом пользователей. Система повышает простоту использования и производительность как в административном управлении, так и в контексте клиентских приложений.

Кроме того, предлагаются процессы управления голосом без помощи рук и нескольких динамиков для распознавания речи и голосовой доступ для приложения клиента. Помощник состоит из моделей и ресурсов, необходимые для выполнения желаемых функций, и может включать любое количество навыков или действия, определенные для конкретного процесса, например, устный прогноз погоды. LinTO – наиболее подходящая платформа для администрации и для пользователя [12]. Цель данной работы реализовать модель нейронной сети для классификации речевых команд: yes, no, up, down, right, left, go, stop.

Методы

Как ранее было упомянуто, для создания голосового помощника необходимо соблюдать последовательность процессов, такие как: обработка голосовых данных потребителя, распознавание речи, преобразование речи для дальнейшего обучения, обучение модели, определения и понимания языка потребителя, отклик и обратная связь потребителю. Данная статья включает в себе

эксперимент моделирования всех процессов с исключением отклика. На экспериментальном этапе данной работы было достигнуто правильное понимание различных команд, например, «go», «down» и т.д. Для создания такой модели выбрали рабочую платформу Python, как основу для создания и для визуализации использовали Seaborn и Tensorflow. Seaborn – это библиотека визуализации данных Python, основанная на matplotlib. Оно предоставляет высокоуровневый интерфейс для рисования привлекательных и информативных статистических графиков.

Звуковые данные были преобразованы в спектрограммы, потому что работа с аудиосигналами приводит к большим потерям. Соответственно, спектрограммы представляют собой изображение которая несет аналогичную информацию как в аудио сигнале. В дальнейшем использовали изображения, для обучения модели выбрали сверточную нейронную сеть. Совместная работа сверточной нейронной сети и Tensorflow обеспечивает высокие результаты в работе с изображениями. В глубоком обучении сверточная нейронная сеть представляет собой класс глубоких нейронных сетей, наиболее часто применяемых для анализа визуальных образов, использующую особую технику, называемой сверткой.

Функция активации ReLU была использована для получения выходных данных. Функция активации ReLU (Rectified Linear Activation) является наиболее распространенным выбором функции активации в мире глубокого обучения. ReLU обеспечивает самые современные результаты и в то же время очень эффективен с точки зрения вычислений. Основная концепция функции активации ReLU заключается в следующем: «Верните 0, если ввод отрицательный, в противном случае оставить ввод как есть». Для визуализации полученных результатов тестирования использовали матрицу неточности. На практике значения точности гораздо более удобней рассчитывать с использованием матрицы неточностей (confusion matrix). В случае если количество классов команд относительно невелико (не более 100-150 классов), этот подход позволяет довольно наглядно представить результаты работы классификатора. Матрица неточностей – это матрица с размером $N*N$, где N – это количество классов команд. Столбцы этой матрицы для экспертного решения, а строки для решения классификатора. Когда мы классифицируем команды из тестовой выборки мы инкрементируем число, стоящее на пересечении строки класса, который вернул классификатор и столбца класса к которому действительно относится.

Результаты и обсуждение

Для обучения использовались 16000 аудиозаписей, для тестирования 800 аудиозаписей, разбитых на восемь класса, каждому назначена определенная команда, например, «go», «down» и т.д. Применялась библиотека Tensorflow для создания обучающего набора чтобы извлечь пар аудио-меток и проверки результатов. Позже создались наборы проверки и тестирования, используя аналогичную процедуру.

На рисунке 1 показаны реализации звуковых сигналов с соответствующими метками. Анализируя звуковые сигналы, можно отметить, что при одинаковых метках (например, как «yes») звуковые сигналы могут иметь разные характеристики.

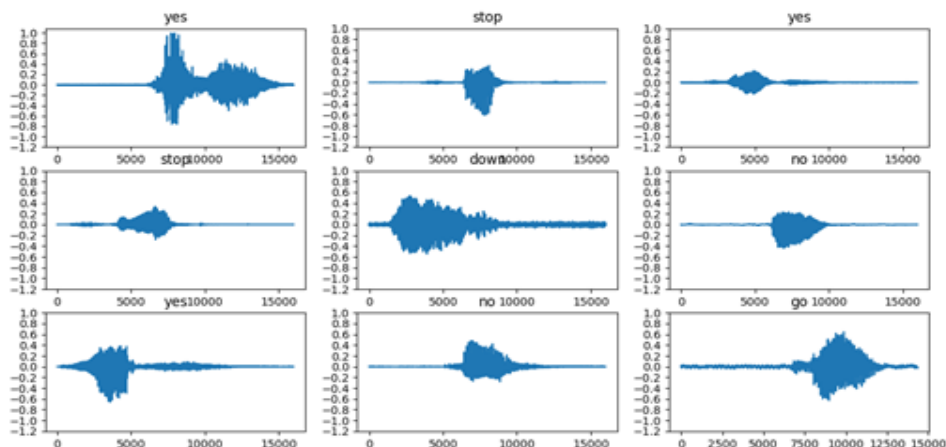


Рисунок 1. Звуковые сигналы с соответствующими метками

Звуковые сигналы были преобразованы в частоты для логарифмической шкалы и транспонировались так, чтобы время было представлено на оси x (столбцы). На рисунке 2 показаны реализация звукового сигнала и спектрограмма данной реализации.

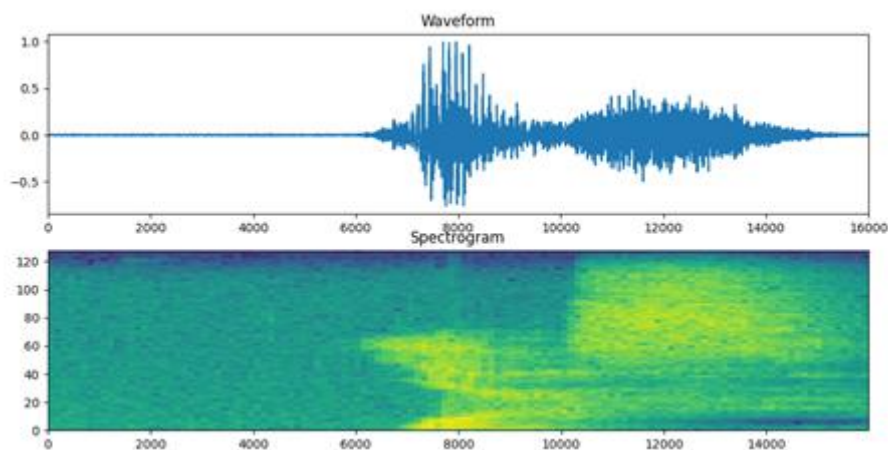


Рисунок 2. Звуковой сигнал и соответствующий спектр

В качестве модели использована простая сверточная нейронная сеть (CNN), поскольку все аудиофайлы преобразовались в изображения спектрограмм (рисунок 3). Анализируя спектрограммы, можно отметить зеленые и оранжево-желтые зоны. В спектрограммах информационную часть описывают оранжево-желтые части. Размеры исходных изображения спектрограмм были сформированы на размер 32x32 для дальнейшего обучения, а также, для активации была использована функция ReLU.

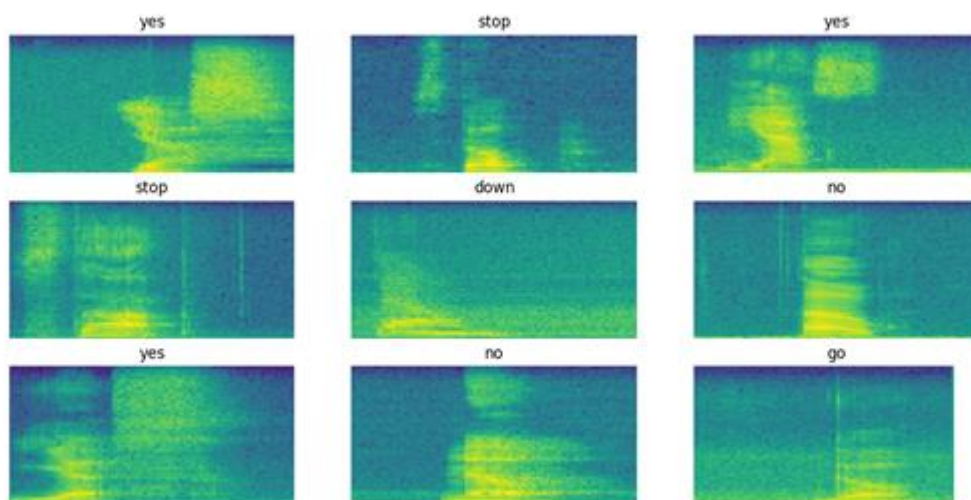


Рисунок 3. Спектры с соответствующими метками

После обучения модели были проверены кривые потерь при обучении, для проверки эффективности модели во время обучения. Количество эпох составляет 10. Ниже показаны (Рисунок 4) кривые потерь при обучении и проверке. Точка пересечения двух кривых должны стремиться к нулю. Чем ближе точка пересечения к точке 0, тем меньше потерь и больше эффективности в обучения модели.

Следующий этап был предназначен для получения результата тестирования. На рисунке 5 показана матрица неточности. Анализируя матрицу, можно заметить световую гамму от темной до светлой, соответственно, с нуля до высокого значения. Общее количество звуковых сигналов для тестирования составило 800 аудиозаписей. Количество правильных классификации составляет 693, то есть точность данной модели 86,63%.

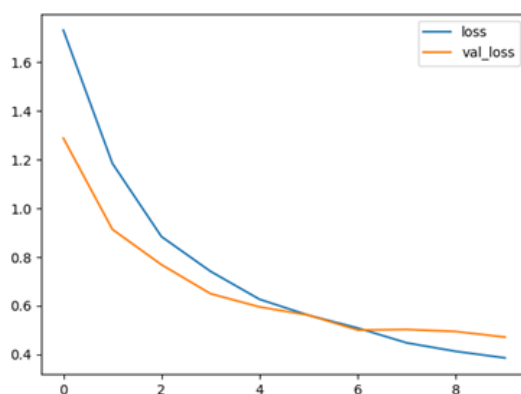


Рисунок 4. Кривые потерь при обучении и проверке

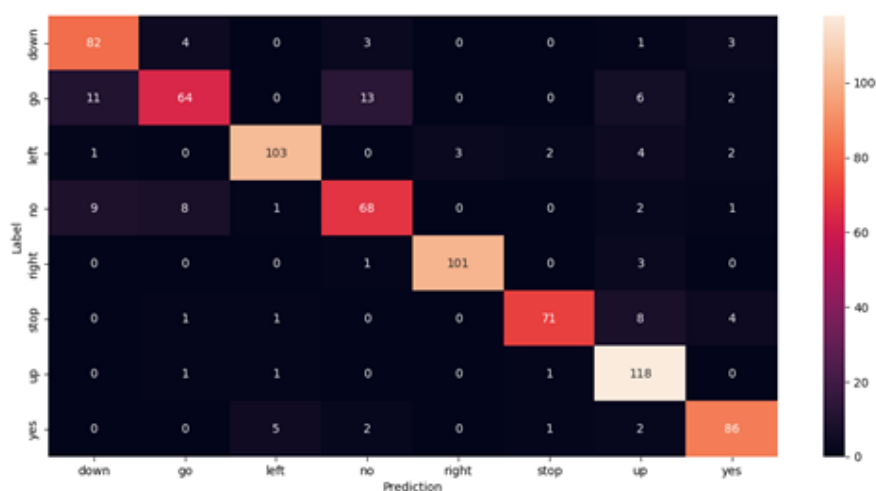


Рисунок 5. Матрица неточности. Результаты тестирования

Заключение

В данной статье были предоставлены методы реализации основных этапов создания голосового помощника. В рабочей платформе Python была протестирована обучающая модель на основе сверточной нейронной сети для распознавания команд. Были задействованы все основные процессы, такие как: обработка голосовых данных, распознавание речи, преобразования речи для дальнейшего обучения, обучение модели, определение и понимание языка.

Для дальнейшего обучения нейронной сети звуковые сигналы были преобразованы в спектрограммы. Обученная модель классифицирует звуковые сигналы с точностью 86,63% для тестовых данных.

Благодарность

Данная работа поддержана грантом Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках проекта №AP09058525 «Разработка цифровых радиомодулей 5G и приемных станции СВЧ сигналов на основе SoC».

Список использованной литературы:

- 1 Rybka, Jan, and Artur Janicki. "Comparison of speaker dependent and speaker independent emotion recognition." *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 23, no. 4 (2013): 797-808. <https://doi.org/10.2478/amcs-2013-0060>
- 2 Hansen, John HL, and Taufiq Hasan. "Speaker recognition by machines and humans: A tutorial review." *IEEE Signal processing magazine* 32, no. 6 (2015): 74-99. <https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2462851>
- 3 Kozhagulov, Y. T., Zhexebay D. M., Sarmanbetov S. A., Sagatbayeva A. A., and Zholdas D. "Comparative analysis of object detection processing speed on the basis of neuroprocessors and neuroaccelerators". *Известия НАН РК. Серия физико-математических наук* 4 (2020): 61-67.

4 Сарманбетов, С., Максұтова А.А., Қожазұлов Е.Т. "Классификатор изображений микросхем при помощи сверточной нейронной сети." *Известия НАН РК. Серия физико-математических наук* 6 (2021): 59-65.

5 Stöckel, Andreas. "Design space exploration of associative memories using spiking neurons with respect to neuromorphic hardware implementations." (2016).

6 Tampel, I. B. "Automatic speech recognition—the main stages over last 50 years." *Nauchno-Tekhnicheskii Vestnik Informatsionnykh Tekhnologii, Mekhaniki i Optiki* 15, no. 6 (2015): 957. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-6-957-968>

7 Vaishnavi, Y., R. Shreyas, S. Suhas, U. N. Surya, Vandana M. Ladwani, and V. Ramasubramanian. "Associative memory framework for speech recognition: adaptation of hopfield network." In *2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)*, pp. 1-6. IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7839105>

8 Krotov, Dmitry, and John J. Hopfield. "Dense associative memory for pattern recognition." *Advances in neural information processing systems* 29 (2016).

9 Sussner, Peter, Estevão L. Esmi, Ivan Villaverde, and Manuel Graña. "The Kosko subsethood fuzzy associative memory (KS-FAM): Mathematical background and applications in computer vision." *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 42, no. 2 (2012): 134-149. <https://doi.org/10.1007/s10851-011-0292-0>

10 Shen, Furao, Qiubao Ouyang, Wataru Kasai, and Osamu Hasegawa. "A general associative memory based on self-organizing incremental neural network." *Neurocomputing* 104 (2013): 57-71. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.10.003>

11 Khorosheva, T., Novoseltseva M., Geidarov N., Krivosheev N., and Chernenko S. "Neural network control interface of the speaker dependent computer system «Deep Interactive Voice Assistant DIVA» to help people with speech impairments." In *International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry*, pp. 444-452. Springer, Cham, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01818-4_44

12 Rebai, Ilyes, Sami Benhamiche, Kate Thompson, Zied Sellami, Damien Laine, and Jean-Pierre Lorre. "LinTO Platform: A Smart Open Voice Assistant for Business Environments." In *Proceedings of the 1st International Workshop on Language Technology Platforms*, pp. 89-95. 2020.

References:

1 Rybka, Jan, and Artur Janicki. "Comparison of speaker dependent and speaker independent emotion recognition." *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 23, no. 4 (2013): 797-808. <https://doi.org/10.2478/amcs-2013-0060>

2 Hansen, John HL, and Taufiq Hasan. "Speaker recognition by machines and humans: A tutorial review." *IEEE Signal processing magazine* 32, no. 6 (2015): 74-99. <https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2462851>

3 Kozhagulov, Y. T., Zhexebay D. M., Sarmanbetov S. A., Sagatbayeva A. A., and Zholdas D. "Comparative analysis of object detection processing speed on the basis of neuroprocessors and neuroaccelerators." *Izvestija NAN RK. Serija fiziko-matematicheskikh nauk* 4 (2020): 61-67.

4 Sarmanbetov, Sanzhar, A. A. Maksutova, and E. T. Kozhagulov. "Klassifikator izobrazhenij mikroshem pri pomoshhi svertochnoj nejronnoj seti." *Izvestija NAN RK. Serija fiziko-matematicheskikh nauk* 6 (2021): 59-65.

5 Stöckel, Andreas. "Design space exploration of associative memories using spiking neurons with respect to neuromorphic hardware implementations." (2016).

6 Tampel, I. B. "Automatic speech recognition—the main stages over last 50 years". *Nauchno-Tekhnicheskii Vestnik Informatsionnykh Tekhnologii, Mekhaniki i Optiki* 15, no. 6 (2015): 957. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-6-957-968>

7 Vaishnavi, Y., R. Shreyas, S. Suhas, U. N. Surya, Vandana M. Ladwani, and V. Ramasubramanian. "Associative memory framework for speech recognition: adaptation of hopfield network." In *2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)*, pp. 1-6. IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7839105>

8 Krotov, Dmitry, and John J. Hopfield. "Dense associative memory for pattern recognition." *Advances in neural information processing systems* 29 (2016).

9 Sussner, Peter, Estevão L. Esmi, Ivan Villaverde, and Manuel Graña. "The Kosko subsethood fuzzy associative memory (KS-FAM): Mathematical background and applications in computer vision." *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 42, no. 2 (2012): 134-149. <https://doi.org/10.1007/s10851-011-0292-0>

10 Shen, Furao, Qiubao Ouyang, Wataru Kasai, and Osamu Hasegawa. "A general associative memory based on self-organizing incremental neural network." *Neurocomputing* 104 (2013): 57-71. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.10.003>

11 Khorosheva, T., Novoseltseva M., Geidarov N., Krivosheev N., and Chernenko S. "Neural network control interface of the speaker dependent computer system «Deep Interactive Voice Assistant DIVA» to help people with speech impairments." In *International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry*, pp. 444-452. Springer, Cham, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01818-4_44

12 Rebai, Ilyes, Sami Benhamiche, Kate Thompson, Zied Sellami, Damien Laine, and Jean-Pierre Lorre. "LinTO Platform: A Smart Open Voice Assistant for Business Environments." In *Proceedings of the 1st International Workshop on Language Technology Platforms*, pp. 89-95. 2020.

А.Т. Ералханова¹, М.А. Есенбай¹, А.К. Мухтарова¹, Д.М. Жексебай^{1*}, Е.Т. Кожгаулов¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: zhexebay92@gmail.com

РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧЕВЫХ ЭМОЦИЙ С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

С развитием технологий распознавания мультимедийных образов, которая позволяет извлекать и анализировать большие объемы мультимедийной информации из видео- и аудио- источников, наблюдается большой рост применения технологии машинного обучения с использованием глубокого обучения для решения различных задач. Распознавание речевых эмоций (или классификация) – одна из самых сложных тем в науке о данных. В этой работе, мы использовали архитектуру на основе MLP-классификатора, которая извлекает мел-частотные кепстрал коэффициенты, хромограммы, мел-шкале спектрограммы из звуковых файлов и использует их в качестве входных данных нейронной сети для идентификации эмоций, используя образцы из Райерсон аудиовизуальной базе эмоциональной речи и песни (RAVDESS). Была разработана модель нейронной сети для распознавания четырех эмоций (спокойствие, гнев, страх, отвращение). Данная модель классифицирует речевые эмоции с точностью 83,33%.

Ключевые слова: голос, распознавание эмоций, MLP-классификатор, RAVDESS, jupyter notebook, Python.

Аңдатпа

А.Т. Ералханова¹, М.А. Есенбай¹, А.К. Мұхтарова¹, Д.М. Жексебай¹, Е.Т. Кожгаулов¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ПАЙДАЛАНЫП СӨЙЛЕУ ЭМОЦИЯЛАРЫН ТАҢУ

Бейне және дыбыс көздерінен мультимедиялық ақпараттың үлкен көлемін шығаруға және талдауға мүмкіндік беретін мультимедиялық кескінді тану технологияларының дамуымен әртүрлі мәселелерді шешу үшін терең оқытуды пайдалана отырып, машиналық оқыту технологиясын пайдаланудың айтарлықтай өсуі байқалды. Сөйлеу эмоциясын тану (немесе жіктеу) деректер ғылымындағы ең күрделі тақырыптардың бірі болып табылады. Бұл жұмыста біз MLP классификаторы негізіндегі архитектураны қолдандық. Райерсон эмоционалды сөйлеу мен әннің аудио-визуалды дерекқорынан (RAVDESS) үлгілерді пайдалана отырып, аудио файлдардан мел-жиілігінің кепстрал коэффициенттері, хромограммалар, мел-шкаласындағы спектрограммалар шығарылып, эмоцияларды анықтау үшін олар нейрондық желінің кірісі ретінде пайдаланылды. Төрт эмоцияны (тыныштық, ашу, қорқыныш, жиіркеніш) тану үшін нейрондық желі моделі әзірленді. Бұл модель сөйлеу эмоцияларын 83,33% дәлдікпен жіктейді.

Түйін сөздер: дауыс, эмоцияны тану, MLP классификаторы, RAVDESS, jupyter notebook, Python.

Abstract

RECOGNITION OF SPEECH EMOTIONS USING MACHINE LEARNING

Yeralkhanova A.T.¹, Yessenbay M.¹, Mukhtarova A.K.¹, Zhexebay D.M.¹, Kozhagulov Y.T.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

With the development of multimedia image recognition technologies, which allows extracting and analyzing large amounts of multimedia information from video and audio sources, there has been a large increase in the use of machine learning technology using deep learning to solve various problems. Speech emotion recognition (or classification) is one of the most complex topics in data science. In this work, we used an MLP classifier-based architecture that extracts chalk-frequency cepstral coefficients, chromograms, chalk-scale spectrograms from audio files and uses these as input to a neural network for emotion identification using samples from the Ryerson Audio-Visual Emotional Speech and Song (RAVDESS). A neural network model was developed to recognize four emotions (calm, anger, fear, disgust). This model classifies speech emotions with an accuracy of 83.33%.

Keywords: voice, emotion recognition, MLP classifier, RAVDESS, jupyter notebook, Python.

Введение

Речевой сигнал – это самый распространённый способ общения между людьми. Исследователи непрерывно работают над применением этого режима коммуникации в области взаимодействия человека и машины. Распознавание речевых эмоций (Speech emotion recognition) – является наиболее

важной задачей для понимания характеристик речи в средствах массовой информации, в сервисах предоставления услуг клиентам для считывания настроения пользователя, чтобы предлагать ему более релевантные услуги, а также в оценке психологического состояния говорящего. Кроме того, система распознавания речевых эмоций также может быть использована для бортовой системы в автомобиле, где информация о психологическом состоянии водителя может быть предоставлена системе для инициирования процедур безопасности. В дополнение ко всему, стоит отметить использование распознавания речевых эмоций в медицине, в качестве дополнительного инструмента диагностики. В приложениях электронного обучения распознавание эмоций (ER-Emotion recognition) может использоваться для настройки стиля презентации компьютеризированного преподавателя для выявления эмоционального состояния учащихся, то есть является ли презентация скучным или интересным. Согласно пространственному представлению эмоций, большое количество вариаций эмоций может быть расположено в двумерном пространстве с координатами валентности и возбуждения [1]. Валентное измерение относится к гедонистическому качеству аффективного переживания и варьируется от неприятного до приятного. Измерение возбуждения относится к восприятию возбуждения, связанного с переживанием, и варьируется от очень спокойного до очень возбужденного. В Берлинской эмоциональной базе данных (ЕМО-DB) есть семь классов эмоций, которые можно четко разделить на два гиперкласса, а именно: высокое возбуждение, содержащее гнев, счастье, тревогу или страх, и низкое возбуждение, содержащее нейтральность, скуку, отвращение и печаль [2]. Классификация отвращения на низкое возбуждение может быть спорной, но, согласно литературе, отвращение относится к эмоциям низкого возбуждения [3].

Для решения задач распознавания в большинстве случаев используются различные архитектуры нейронных сетей и их комбинации [4]. Архитектуры с прямой связью, такие как глубокие нейронные сети (DNNs) и сверточные нейронные сети (ConvNets) были особенно успешны в обработке изображений и видео, а также в распознавании речи, в то время как рекуррентные архитектуры, такие как рекуррентные нейронные сети (RNNs), долговременная и кратковременная память (LSTM) были эффективны в распознавании речи и естественной обработке языков [5]. Эти архитектуры обрабатывают и моделируют информацию по-разному и имеют свои преимущества и ограничения. К примеру, сверточные нейронные сети способны работать с многомерными входными данными и изучать функции, которые инвариантны к небольшим изменениям и искажениям [6], в то время как LSTM-RNN способны обрабатывать входные данные переменной длины и моделировать последовательные данные с контекстом большого диапазона. Комбинация CNN и RNN может обнаружить существенную закономерность в аудиофайлах при извлечении объектов и классификации объектов. При представлении речевых сигналов в виде спектрограмм, и вводе их трехслойную CNN архитектуру в качестве входных данных, нейронная сеть извлекает функции из этих спектрограмм и с высокой точностью выводит прогнозы для семи классов эмоций на основе набора данных Berlin [4]. Касательно использования сверточных нейронных сетей (CNN), в распознаваниях речевых эмоций, также был предложен процесс обучения, который был разбит на три основных этапа [7]:

1. Изучение локальных инвариантных функций (Local Invariant Feature Learning-LIFL) – разреженный автоэнкодер для бесконтрольного изучения локальных инвариантных функций по эмоциональному речевому сигналу в нескольких масштабах. Сначала, разреженный автоэнкодер изучает ядра с разными масштабами. Затем весь фрагмент эмоциональной спектрограммы сворачивается с изученными ядрами, чтобы сформировать серию карт объектов. Эти карты объектов затем подвергаются подвыборке с помощью объединения средних и складываются в один вектор объектов в качестве конечного результата сверточного слоя.

2. Анализ отличительных признаков (Salient Discriminative Feature Analysis- SDFA) – разделение функций состоит в том, чтобы отделить важные эффективные выдающиеся функции, которые учатся кодировать полезную информацию о речевых эмоциях, от неэффективных функций (которые дополняют друг друга, но не влияют на конечный результат).

3. Обучение SVM – эффективные выдающиеся функции используются в качестве входных данных для обучения линейной SVM на основе помеченных обучающих данных.

В области распознавания речевых эмоций могут использоваться различные классификаторы, такие как метод опорных векторов (SVM-Support vector machine), вероятностные нейронные сети (PNN-Probabilistic Neural Networks), многослойный перцептрон (MLP-Multilayer Perceptron). В соответствии, с исследованием, производительность SVMs (приблизительно 78 % правильной классификации в

семи классах эмоций) достигает более высокой точности, чем MLP (приблизительно 53% правильной классификации в семи классах эмоций). Однако, наблюдая результаты для MLP в двух гиперклассах (низкое и высокое возбуждение), скорость распознавания достигает 89,1 % для высокого возбуждения и 78,8 % для эмоций с низким возбуждением, в то время как результаты выше для SVM в двух гиперклассах (низкое и высокое возбуждение), скорость распознавания достигает 100 % для высокого возбуждения и 87% для эмоций с низким возбуждением. PNN достиг почти идеальной правильной классификации (94 %) в распознавании эмоций, зависящих от говорящего [8].

Также для решения задачи SER используются классификаторы на методе ближайших соседей, к примеру, классификатор K-ближайших соседей, взвешенная KNN (KNN), классификация KNN с использованием моделей категориального среднего (WCAP) и взвешенная дискретная KNN (WDKNN). Классификация K-ближайших соседей (K-Nearest Neighborhood-KNN) – это очень простой, но мощный метод классификации. Ключевая идея классификации KNN заключается в том, что аналогичные наблюдения принадлежат к аналогичным классам. Таким образом, нужно просто найти обозначения классов определенного числа ближайших соседей и суммировать их номера классов, чтобы присвоить неизвестному номер класса. В WKNN к ближайшим соседям присваиваются разные веса. Точность KNN классификатора составляет 72,5%, а также для других классификаторов колеблется от 73.8-76.1%, 73.1%-74.5%, и 78,7%-81,4% в WKN, WCAP и WDKNN соответственно [9]. Согласно различным экспериментам, у каждого классификатора есть свои преимущества и ограничения. Для того чтобы объединить достоинства различных классификаторов, недавно также было изучено объединение группы классификаторов [10].

Вне зависимости на какой архитектуре была построена система SER, основной задачей исследовательских работ последнего десятилетия является выбор оптимального набора функций.

Поскольку речевые сигналы не являются стационарными, при обработке речи принято разделять речевой сигнал на небольшие сегменты, называемые кадрами. В пределах кадра, считается что сигнал является максимально стационарным. При распознаваниях речевых эмоций все признаки речи можно разделить на два класса: локальные и глобальные. Локальные признаки, такие как высотный класс и энергия, называются просодическими и извлекаются из каждого кадра. С другой стороны, глобальный признак рассчитывается как статистика всех функций речи, извлеченных из речи. Большинство исследователей, пришло к выводу о преимуществе глобальных признаков, перед локальными, так как их количество невелико. Таким образом, применение перекрестной валидации и функций, определяющих алгоритм, позволяет значительно быстрее применять глобальные функции [11]. Однако у глобальных признаков есть свои недостатки, они в основном эффективны при распознаваниях эмоций высокого возбуждения, таких как гнев, страх, радость по сравнению с эмоциями низкого возбуждения, например, печалью [12].

Преимущественно, системы распознавания речевых эмоций работают путем извлечения признаков из речи с последующей процедурой классификации для прогнозирования эмоций. Одной из важных проблем в исследовании распознавания речевых эмоций считается извлечение из речи различительных, устойчивых и влияющих на нее признаков, так как нет одного основного признака описывающего речевой сигнал. Извлечение функций признаков играет решающую роль для любой модели, потому что правильный выбор функций может привести к лучшей обученной модели, в то время как неподходящие функции значительно затрудняют процесс обучения. Часто используются, следующие различные спектральные представления одной и той же записи в качестве входных данных для моделей обучения:

- Mel-частотные коэффициенты кепстрала (MFCC)
- Спектрограмма в мелкомасштабном масштабе
- Хромограмма
- Характеристика спектрального контраста

Преобразование Фурье и энергетический спектр получены и отображены в шкале Mel-частот. Хотя, как спектрограмма в мелкомасштабном масштабе, так и MFCC хороши в идентификации и отслеживании колебаний тембра в звуковом файле, они, как правило, плохо различимы в представлении классов высоты тона и гармонии. Для решения этой проблемы применяются хромограммы. Функция спектрального контраста обеспечивает более подробное спектральное подтверждение звука по отношению к MFCC и спектрограммам в мелком масштабе. Согласно литературе [13], методы, основанные на подробной спектральной информации, превосходят методы, использующие шкалу Mel, в области классификации музыкальных жанров.

Метод

В этой работе мы предлагаем, распознавание речевых эмоций с помощью MLP-классификатора, для процесса извлечения функций мы использовали аудиотеку Librosa [14]. Важным вопросом, который необходимо учитывать при оценке распознавателя эмоциональной речи, является степень естественности базы данных, используемой для оценки ее производительности. Для этой работы мы использовали, аудиовизуальную базу данных эмоциональной речи и песен Райерсона (RAVDESS) [15] из-за ее большой доступности. Этот набор данных содержит аудио- и видеозаписи 12 актеров мужчин и 12 женщин, произносящих английские предложения с восемью различными эмоциональными выражениями. Для нашей задачи мы используем только образцы речи из базы данных со следующими восемью различными классами эмоций: радость, печаль, гнев, спокойствие, страх, удивление, нейтральное и отвращение. Общее количество высказываний составляет 14400. Данный набор был разделен в соотношении 75 % данных на практические данные и 25% данных тестирования. Для лучшего представления набора данных RAVDESS, мы визуализировали формы волн и спектрограммы восьми различных классов эмоций, которые изображены на рисунке 1.

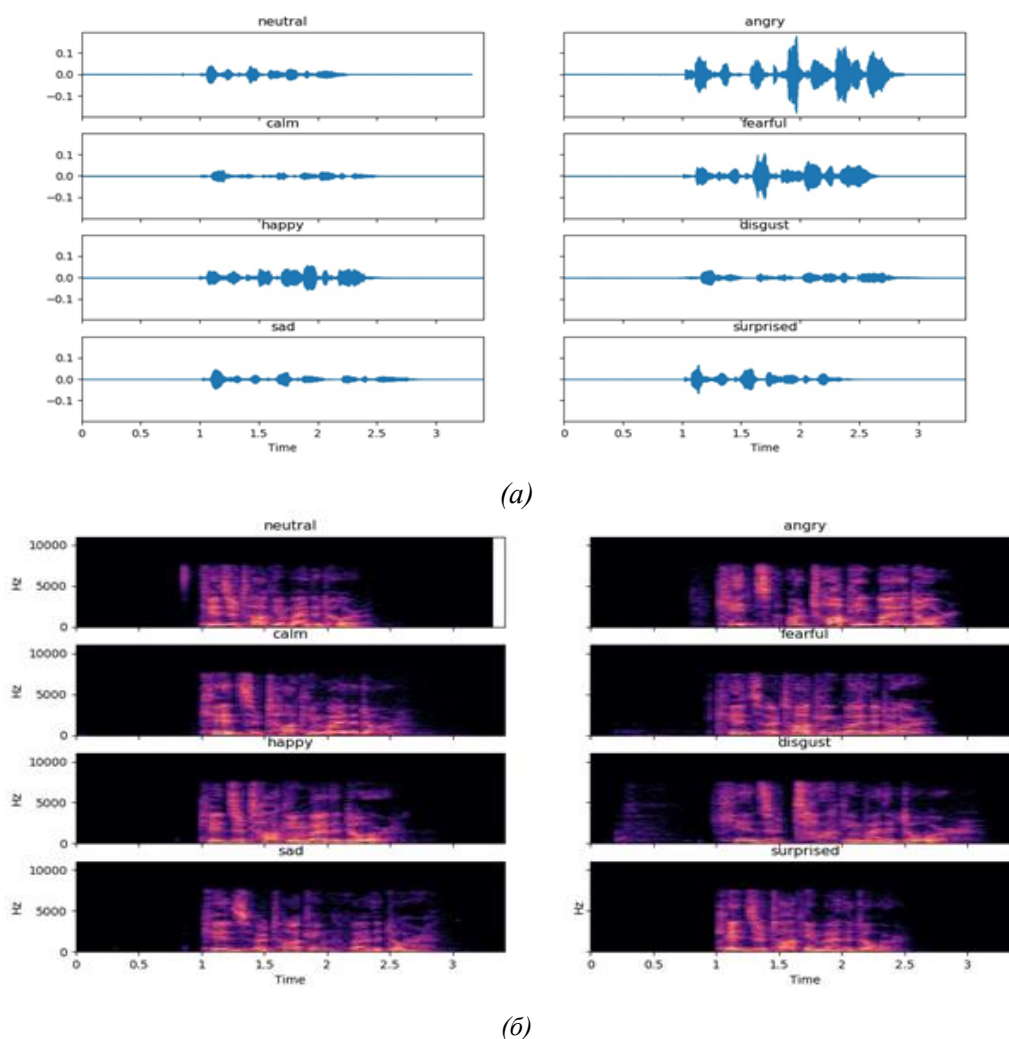


Рисунок 1. Формы волн (а) и спектрограммы (б) набора данных RAVDESS

В этом исследовании нейронная сеть была реализована на языке Python в Jupyter Notebook – интерактивном веб-приложении с открытым исходным кодом с использованием библиотек librosa, soundfile и sklearn для построения модели с использованием MLP-классификатора. Сначала загружаются данные, далее из них извлекаются функции признаков. В качестве характерных особенностей исходного звукового сигнала используются MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, мел-частотные кепстральные коэффициенты), коэффициент цветности (chromagram)- представлен вектором признаков из 12 элементов, в котором указано количество энергии каждого высотного класса, а также коэффициент mel (Mel Spectrogram Frequency).

На рисунке 2 представлена визуализация мел-частотного кепстрального коэффициента 8 классов эмоций.

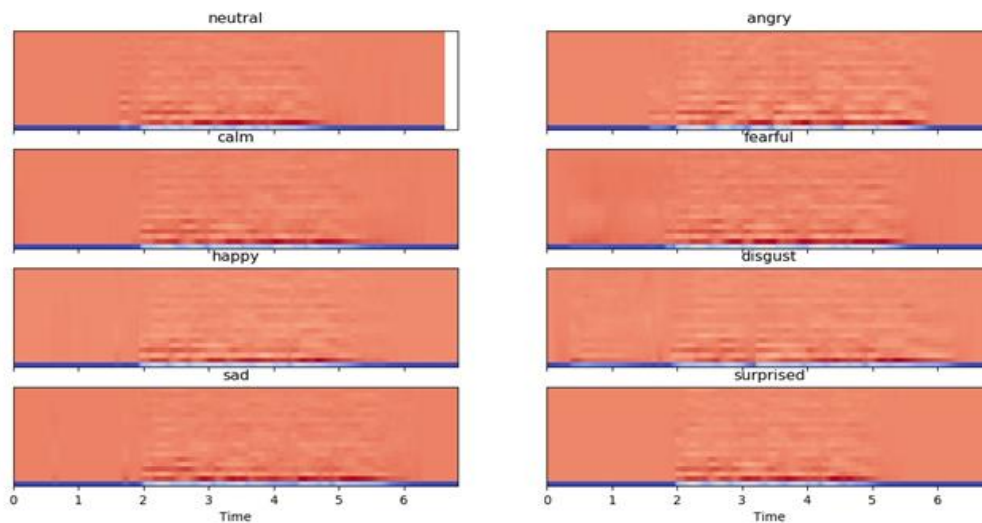


Рисунок 2. Визуализация мел-частотного кепстрального коэффициента(MFCC)

Далее используется классификатор MLP (MLPClassifier). Это многослойный классификатор перцептронов, он оптимизирует логарифмическую функцию потерь с использованием стохастического градиентного спуска. Классификатор MLPClassifier реализует алгоритм многослойного перцептрона (MLP), который обучается с использованием обратного распространения. MLP обучается на двух массивах: массиве размера x ($n_samples, n_features$), который содержит обучающие выборки, представленные в виде векторов объектов с плавающей запятой и массив размера y ($n_samples$), который содержит целевые значения (метки классов) для обучающих выборок. MLPClassifier используют гиперпараметр α (alpha) для термина регуляризации (L2-регуляризация), которая помогает избежать переобучения, штрафую веса большими величинами. В нашем классификаторе $\alpha=0.01$, с адаптивной скоростью обучения. Нельзя пропустить через нейронную сеть разом весь набор данных. Поэтому делим данные на пакеты для этого в алгоритме обучения вводится гиперпараметр $batch_size$, в нашем классификаторе $batch_size=256$.

Эксперимент и результаты

В ходе эксперимента для распознавания речевых эмоций были выбраны четыре наблюдаемых классов эмоции: спокойствие, гнев, страх, удивление. По результатам экспериментов точность данной системы составила 83,33 %. Для лучшего представления результатов была создана матрица ошибок, которая представляет собой конкретную компоновку таблиц, которая позволяет визуализировать производительность алгоритма, контролируемого обучения. Каждая строка матрицы представляет экземпляры в реальном классе, в то время как каждый столбец представляет экземпляры в прогнозируемом классе, или наоборот. Матрица ошибок представлена показана на рисунке 3.

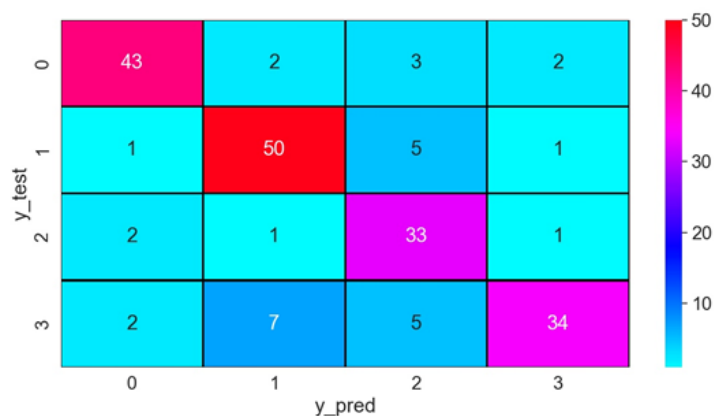


Рисунок 3. Матрица ошибок

Матрица ошибок ясно показывает, что модель уверенно идентифицирует сильные эмоции, такие как «гнев». Однако это сбивает с толку некоторые близкие эмоции, такие как «страх» и «удивление».

Обсуждение

Распознавание речевых эмоций - сложная задача, которая включает в себя две основные проблемы: выделение признаков и классификацию. В нашей работе мы предлагаем структуру для распознавания речевых эмоций с использованием MLP-классификатора для набора данных RAVDESS, которая показывает высокую точность. Тем не менее, мы считаем, что можно провести дополнительные исследования по этой теме. Включение других типов функций или использование комбинаций различных архитектур нейронной сети для достижения функций высокого уровня может значительно повысить точность в задаче распознавания речевых эмоций. Кроме того, можно использовать другие наборы речевых данных, такие как EMO-DB, SAVEE Database, IEMOCAP для проверки производительности сети, и увеличения набора обучающих данных. Следует отметить, что порядок наложения звуковых характеристик играет важную роль в конечном исполнении. Поэтому изменение порядка может привести к различной точности классификации.

Заключение

В проведенной работе была разработана система распознавания четырех эмоций (спокойствие, гнев, страх, отвращение) из базы данных с восемью различными классами эмоций по голосу на основе модели с использованием MLP-классификатора. По результатам экспериментов точность данной системы составила 83,33%. В дальнейшем планируется расширить класс акустических признаков, а также использовать другие архитектуры нейронных сетей, для повышения точности распознавания всех восьми классов эмоций.

Благодарность

Данная работа поддержана грантом Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках проекта №AP09058525 «Разработка цифровых радиомодулей 5G и приемных станций СВЧ сигналов на основе SoC».

Список использованной литературы:

- 1 Lang, Peter J. "The emotion probe: Studies of motivation and attention." *American psychologist* 50, no. 5 (1995): 372. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.5.372>
- 2 Burkhardt, Felix, Astrid Paeschke, Miriam Rolfes, Walter F. Sendlmeier, and Benjamin Weiss. "A database of German emotional speech." In *Interspeech*, vol. 5, pp. 1517-1520. 2005. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2005-446>
- 3 Hozjan, Vladimir, and Zdravko Kačič. "Context-independent multilingual emotion recognition from speech signals." *International journal of speech technology* 6, no. 3 (2003): 311-320. <https://doi.org/10.1023/A:1023426522496>
- 4 Lim, Wootae, Daeyoung Jang, and Taejin Lee. "Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks." In *2016 Asia-Pacific signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA)*, pp. 1-4. IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/APSIPA.2016.7820699>
- 5 LeCun, Yann, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. "Deep learning." *nature* 521, no. 7553 (2015): 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- 6 Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems* 25 (2012): 1097-1105. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- 7 Mao, Qirong, Ming Dong, Zhengwei Huang, and Yongzhao Zhan. "Learning salient features for speech emotion recognition using convolutional neural networks." *IEEE transactions on multimedia* 16, no. 8 (2014): 2203-2213. <https://doi.org/10.1109/TMM.2014.2360798>
- 8 Iliou, Theodoros, and Christos-Nikolaos Anagnostopoulos. "SVM-MLP-PNN classifiers on speech emotion recognition field-A comparative study." In *2010 Fifth International Conference on Digital Telecommunications*, pp. 1-6. IEEE, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICDT.2010.8>
- 9 Pao, Tsang-Long, Yu-Te Chen, Jun-Heng Yeh, Yun-Maw Cheng, and Yu-Yuan Lin. "A comparative study of different weighting schemes on KNN-based emotion recognition in Mandarin speech." In *International Conference on Intelligent Computing*, pp. 997-1005. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74171-8_101
- 10 Llugger, Marko, Marie-Elise Janoir, and Bin Yang. "Combining classifiers with diverse feature sets for robust speaker independent emotion recognition." In *2009 17th European Signal Processing Conference*, pp. 1225-1229. IEEE, 2009. <https://doi.org/10.5281/zenodo.41415>

- 11 Hu, Hao, Ming-Xing Xu, and Wei Wu. "Fusion of global statistical and segmental spectral features for speech emotion recognition." In INTERSPEECH, pp. 2269-2272. 2007. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2007-616>
- 12 Nwe, Tin Lay, Say Wei Foo, and Liyanage C. De Silva. "Speech emotion recognition using hidden Markov models." *Speech communication* 41, no. 4 (2003): 603-623. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(03\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(03)00099-2)
- 13 Jiang, Dan-Ning, Lie Lu, Hong-Jiang Zhang, Jian-Hua Tao, and Lian-Hong Cai. "Music type classification by spectral contrast feature." In *Proceedings. IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, vol. 1, pp. 113-116. IEEE, 2002. <https://doi.org/10.1109/ICME.2002.1035731>
- 14 McFee, Brian, Colin Raffel, Dawen Liang, Daniel PW Ellis, Matt McVicar, Eric Battenberg, and Oriol Nieto. "librosa: Audio and music signal analysis in python." In *Proceedings of the 14th python in science conference*, vol. 8, pp. 18-25. 2015. <https://doi.org/10.25080/Majors-7b98e3ed-003>
- 15 Livingstone, Steven R., and Frank A. Russo. "The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDSS): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English." *PloS one* 13, no. 5 (2018): e0196391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196391>

References:

- 1 Lang, Peter J. "The emotion probe: Studies of motivation and attention." *American psychologist* 50, no. 5 (1995): 372. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.5.372>
- 2 Burkhardt, Felix, Astrid Paeschke, Miriam Rolfes, Walter F. Sendlmeier, and Benjamin Weiss. "A database of German emotional speech." In *Interspeech*, vol. 5, pp. 1517-1520. 2005. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2005-446>
- 3 Hozjan, Vladimir, and Zdravko Kačič. "Context-independent multilingual emotion recognition from speech signals." *International journal of speech technology* 6, no. 3 (2003): 311-320. <https://doi.org/10.1023/A:1023426522496>
- 4 Lim, Wootae, Daeyoung Jang, and Taejin Lee. "Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks." In *2016 Asia-Pacific signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA)*, pp. 1-4. IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/APSIPA.2016.7820699>
- 5 LeCun, Yann, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. "Deep learning." *nature* 521, no. 7553 (2015): 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- 6 Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems* 25 (2012): 1097-1105. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- 7 Mao, Qirong, Ming Dong, Zhengwei Huang, and Yongzhao Zhan. "Learning salient features for speech emotion recognition using convolutional neural networks." *IEEE transactions on multimedia* 16, no. 8 (2014): 2203-2213. <https://doi.org/10.1109/TMM.2014.2360798>
- 8 Iliou, Theodoros, and Christos-Nikolaos Anagnostopoulos. "SVM-MLP-PNN classifiers on speech emotion recognition field-A comparative study." In *2010 Fifth International Conference on Digital Telecommunications*, pp. 1-6. IEEE, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICDT.2010.8>
- 9 Pao, Tsang-Long, Yu-Te Chen, Jun-Heng Yeh, Yun-Maw Cheng, and Yu-Yuan Lin. "A comparative study of different weighting schemes on KNN-based emotion recognition in Mandarin speech." In *International Conference on Intelligent Computing*, pp. 997-1005. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74171-8_101
- 10 Llugger, Marko, Marie-Elise Janoir, and Bin Yang. "Combining classifiers with diverse feature sets for robust speaker independent emotion recognition." In *2009 17th European Signal Processing Conference*, pp. 1225-1229. IEEE, 2009. <https://doi.org/10.5281/zenodo.41415>
- 11 Hu, Hao, Ming-Xing Xu, and Wei Wu. "Fusion of global statistical and segmental spectral features for speech emotion recognition." In INTERSPEECH, pp. 2269-2272. 2007. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2007-616>
- 12 Nwe, Tin Lay, Say Wei Foo, and Liyanage C. De Silva. "Speech emotion recognition using hidden Markov models." *Speech communication* 41, no. 4 (2003): 603-623. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(03\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(03)00099-2)
- 13 Jiang, Dan-Ning, Lie Lu, Hong-Jiang Zhang, Jian-Hua Tao, and Lian-Hong Cai. "Music type classification by spectral contrast feature." In *Proceedings. IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, vol. 1, pp. 113-116. IEEE, 2002. <https://doi.org/10.1109/ICME.2002.1035731>
- 14 McFee, Brian, Colin Raffel, Dawen Liang, Daniel PW Ellis, Matt McVicar, Eric Battenberg, and Oriol Nieto. "librosa: Audio and music signal analysis in python." In *Proceedings of the 14th python in science conference*, vol. 8, pp. 18-25. 2015. <https://doi.org/10.25080/Majors-7b98e3ed-003>
- 15 Livingstone, Steven R., and Frank A. Russo. "The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDSS): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English." *PloS one* 13, no. 5 (2018): e0196391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196391>

ANALYSIS OF INFORMATION SYSTEMS IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL PROGRAMS FOR ELECTIVE COURSES

Zakirova A.B.¹, Koshanova D.K.², Bostanov B.G.³

^{1,2} L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

³ Kazakh national Women's teacher training University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: koshanova.d.k@gmail.com

Abstract

In these days, with the rapid development of information technologies and the education system of higher educational institutions, huge amounts of data are accumulating, and a large number of available courses are being developed. Consequently, students face difficulties in finding suitable courses that match their interests. As a solution, several course recommendation systems have been developed over the course of a decade, and many data mining methods for cluster data have been applied. The recommendation system allows students to notice their preferences and returns results that are useful to them, based on the assessments of other users and the assumptions of the system itself. With the help of recommendation systems, the student's learning process will be planned more productively and efficiently. The purpose of this study is to determine the general criteria of the recommendation system to meet the interests and objectives of students. In order to gain a deep theoretical understanding, a thorough review of the literature on works published over a 5-year period (2015-2020) was conducted. The paper analyzes the technologies that are used to create recommendation systems. The results obtained show common approaches, algorithms, and evaluation measurements of the recommendation system.

Keywords: recommendation system, course selection, Collaborative Filtering (CF), Content-Based Filtering (CBF), algorithms.

Аңдатпа

А.Б. Закирова¹, Д.К. Кошанова^{2*}, Б.Г. Бостанов³

^{1,2} Л. Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ, Қазақстан

³ Қазақский Национальный женский педагогический университет, Алматы қ, Қазақстан

БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ӨЗІРЛЕУ КЕЗІНДЕ ЭЛЕКТИВТІ КУРСТАР ҰСЫНАТЫН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРГЕ ТАЛДАУ

Қазіргі таңда, ақпараттық технологиялар мен жоғары оқу орындарында білім беру жүйесінің қарқынды дамуы және де көптеген элективті курстар әзірленуде. Десекте, деректердің үлкен көлемі студенттердің өздерінің қызығушылықтарына сәйкес келетін курстарды табуға қиындықтарға әкелуде. Атап өтілген мәселелінің шешімі ретінде, соңғы он жыл ішінде шешім ретінде бірнеше элективті курстарды ұсыныстын ақпараттық жүйелерлер әзірленуде, сонымен қатар кластерлік мәліметтер үшін көптеген деректерді іздеу әдістері қолданылды. Элективті курстарды ұсынатын ақпараттық жүйелер студенттерге басқа пайдаланушылардың бағалары мен курс туралы ойларын білу арқылы, ең тиімді деген курстарды таңдауға мүмкіндік береді. Ұсыныс жүйелерінің көмегімен студенттің оқу процесі нәтижелі және тиімді жоспарланады. Осы зерттеудің мақсаты ұсынымдық жүйенің жалпы өлшемдерін анықтау болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты студенттердің мүдделері мен міндеттерін қанағаттандыру үшін құрылып қатқан ақпараттық ұсыныс жүйелерінің жалпы критерийлерін анықтау болып табылады. Терең теориялық түсінік алу үшін 5-жылдық кезеңде (2015-2020 жылдар) жарияланған жұмыстар бойынша әдебиеттерге мұқият шолу жасалды. Алынған нәтижелер ұсыныс жүйесінің жалпы тәсілдерін, алгоритмдерін және бағалау өлшемдерін көрсетеді.

Түйін сөздер: ақпараттық ұсыныстар жүйесі, курсты таңдау, коллаборативті фильтрлеу, контенттік фильтрлеу, алгоритмдер.

Аннотация

Закирова А.Б.,¹ Кошанова Д.К.,² Бостанов Б.Г.³

^{1,2} Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

³ Казахский Национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПО ЭЛЕКТИВНЫМ КУРСАМ

На сегодняшний день, с быстрым развитием информационных технологий и системы образования высших учебных заведений накапливаются огромные объемы данных, разрабатывается большое количество доступных курсов. Следовательно, студенты сталкиваются с трудностями в поиске подходящих курсов, которые соответствуют их интересам. В качестве решения в течение десятилетия было разработано несколько систем рекомендаций по курсам, а также применено множество методов интеллектуального анализа данных для кластерных данных. Рекомендательная система позволяет студентам замечать свои предпочтения и возвращает результаты, которые полезны для него, основываясь на оценках других пользователей и предположениях самой системы. С помощью рекомендательных систем учебный процесс студента будет спланирован более продуктивно и эффективно. Целью данного исследования является определение общих критериев рекомендательной системы для удовлетворения интересов и задач студентов. Для получения глубокого теоретического понимания был проведен тщательный обзор литературы по работам, опубликованным за 5-летний период (2015-2020 годы). В работе анализируются технологии, которые используются для создания рекомендационных систем. Полученные результаты показывают общие подходы, алгоритмы и оценочные измерения рекомендательной системы.

Ключевые слова: рекомендательная система, выбор курса, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, алгоритмы.

Introduction

Recently, many aspects of receiving a high education have been changed. The volume of course-related information available to students is rapidly increasing. As a consequence, students pursuing higher education degrees are faced with many challenges: a myriad of courses from which to choose and a lack of awareness about which courses to follow and in what order. To make decisions students at the elective courses' specific content, easy courses to obtain higher scores and sometimes they look at professors. In most cases, their decisions are influenced by students' feedback [1], consultation with their advisors [2], and so on. Hence, there is a need for a recommender system to aid students to make relevant course choices as elective courses are integral components variable system of the educational process at the levels of basic general and secondary (complete) general education, ensuring successful profile and professional self-determination of students. The recommender systems could aid students in suggesting suitable courses as well as shortening the time to explore courses to follow [3]. A recommender system (RS) is an information filtering tool that attempts to recommend information items (courses, movies, etc) that are likely to meet users' references [4]. Bhaskar Mondal et al. defined RS as an intelligent system that recommends a personalized set of information extracted from a dynamically generated huge volume of data [5].

Recommender systems are programs and services that assess users' preferences and attempt to forecast what will be most interesting to them at any given time. Such systems display a user's choice for content depending on data given by the user expressly or based on his interaction with the system. The following characteristics should be present in recommender systems: the system should be tailored to a specific user, as preferences vary greatly from person to person; the system should take into account the user's current preferences, adapting to him over time; the system must constantly seek out new areas of information to offer to the user. This study's main concern is that students are being assigned to courses in which they have little interest, that they are having problems acquiring knowledge, and that they are being overloaded with information during their application for admission to higher learning institutions. Students find it challenging to make educated judgments when they have a large number of options from which to choose and research in order to develop a list of courses in which they are interested. Because of the abundance of universities offering a wide range of courses from which a student can choose, students often miss out on placement in the courses they desire owing to a lack of proper guidance while making course selections during the application period. Hence, there is a need to provide a solution that recommends a filtered list of courses based on their interests and performance

The main goal of RSs is to deliver customized information to a great variety of users according to their preferences [6]. Considering the various aspects of the course section and technological process, it is necessary to generate a recommendation system that meets students' needs and navigates through the

learning process. The success of the recommendation system can be generated through the analytical capabilities and completeness of its features. This study is aimed to identify the general criteria of the course recommendation system. To archive this goal it needs to be supported by a theoretical basis and approaches. Furthermore, in this study, there are the main themes that become the research question. First, «what are the approaches to building a recommendation system?». Second, «what algorithms are used to process the interaction between the learner and system?». This study was conducted through a literature review relating to course selection recommendation systems published papers over a five-year period between 2015 and 2020.

Methods

The process of the literature review conducted in this study consists of several steps. First, the source of research articles (IEEE, Google Scholar, Science Direct, and Web of Science) and search keywords ("elective course" AND "recommendation system" OR "recommender system") were established. Found papers were inputted the "Studies found". Second, papers' titles and abstracts were scanned to find research questions – matching papers. Eventually, after reading thoroughly the introduction and the contents of the whole paper according to research questions, the papers were saved as "Selected studies". The complete list of selected papers is shown in table 1.

Table1. Source of Publication

| | Title | Reference | Year | Type |
|----|---|-----------|------|-----------------|
| 1 | Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization | [1] | 2019 | J |
| 2 | An Automated Recommender System for Course Selection | [2] | 2016 | J |
| 3 | Recommender Systems for University Elective Course recommendation | [3] | 2017 | C |
| 4 | A K-Nearest Neighbour Algorithm-Based Recommender System for the Dynamic Selection of Elective Undergraduate Courses | [4] | 2019 | J |
| 5 | A course recommendation system based on grades | [5] | 2020 | C |
| 6 | Skill Based Course Recommendation System | [6] | 2020 | C |
| 7 | Module Advisor: Guiding Students with Recommendations | [7] | 2018 | J |
| 8 | Elective course recommendation model for higher education program | [3] | 2018 | J |
| 9 | An Intelligent Student Advising System Using Collaborative Filtering | [9] | 2015 | J |
| 10 | PRCS: Personalized course recommender system based on hybrid approach | [10] | 2017 | C |
| 11 | A Hybrid Course Recommendation System by Integrating Collaborative Filtering and Artificial Immune Systems | [11] | 2016 | J |
| 12 | Next level: a course recommender system based on next level: a course recommender system based on career interests | [12] | 2019 | Masters' thesis |
| 13 | A Recommendation System for Prediction of Elective Subjects | [13] | 2017 | C |
| 14 | Developing a Course Recommender by Combining Clustering and Fuzzy Association Rules. | [14] | 2019 | C |

Results and discussion

The aim of a literature review in this study was to identify the general criteria of the recommendation system. They are recommendation system approaches, algorithms and recommender system evaluation measures. One of the challenges that universities tend to achieve is students' course enrolment recommendation. It not only assists students in deciding what to study, but it also maximizes their performance if they are able to study what they enjoy or are interested in. Based on our review, three main approaches of recommendation systems identified. While collaborative filtering was a widely implemented technique, rule mining was found only in a couple of papers. Hybrid filtering and content-based filtering were also used to generate RSs. The present study examined the recommender systems and among existing methods, the introduce algorithms were compared focusing on collaborating filtering based on association rules mining, as illustrated in Figure 1.

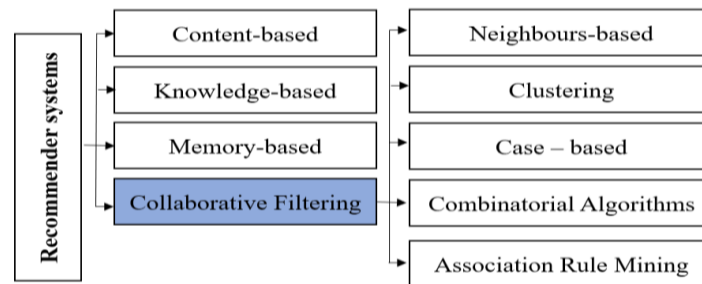


Figure 1. Distribution of approaches employed in recommendation systems

Collaborative Filtering (CF)

Collaborative filtering (sometimes called top-N) recommends an item to a user by investigating the user's similarity with the user's information in a system, and predict the item that the user would be interested in. This approach is attractive due to its data storage mechanism, as it does not store the personal information of each user and merely keeps item-related items. The similarity employed in similarity majors like Pearson Cosine has a significant impact on the performance of CF-systems. A similarity major is chosen depending on the date available in the repository. Similarity, Correlation Coefficient, and Euclidean distance are often used to evaluate similarity between users. Collaborative filtering has the advantage of being both simple and accurate to apply. They do, however, have a cold start problem, in which they fail first-time users whose information is not stored in the system. Memory-based and model-based CF algorithms are two major classes existing today. Memory-based collaborative filtering algorithms use the entire database to generate a recommendation, while model-based systems extract a subset of information about users and items. Memory-based collaborative filtering algorithms further divided into item-based and user-based collaborative filtering. Memory-based CF algorithms anticipate using the entire user-item database. These algorithms employ statistical approaches to identify a group of users known as neighbours who have exhibited similar behaviour in the past to the target user. Following the collection of neighbourhood data, these strategies employ various algorithms to aggregate neighbourhood preferences in order to generate a forecast or top-N recommendation for the active user. Hence, such methods are also known as user-based collaborative filtering or nearest-neighbour filtering.

Kiratijuta Bhumichitr et al. developed a collaborative-based recommendation system using Pearson Correlation Coefficient and Altering Least Square (ALS). In the paper of Adewale Opeoluwa Ogunde, a system was developed for undergraduate students considering the previous performances of other students in the course. Kathiravelu Ganeshan and Xiaosong Li proposed a web-based intelligent student advising system applying collaborative filtering. In order to understand what drives students to choose a particular course, their GPA, Age, Ethnicity, and gender were analyzed. The K-means experiment results found that between 24 and 27 aged male students from European, Maori, and Asian backgrounds preferred the software major. Pei- Chann Chang et al. proposed a two-stage user-based collaborative filtering process with an artificial immune system to predict the students' grades and a filter for professors' ratings.

Content-based Filtering (CBF)

Content-based filtering recommends an item to a user by considering the description of the item and clustering the item and the user into groups to gain similarity between them. The main advantage of the CDF approach is that system is tailored to users' unique interests, which allows avoiding the cold-start problem for new and unpopular items. CBF based on criteria related to course information, competence, professors, theoretical and practical content, and knowledge area. Shehba Shahab in her thesis presented a recommender system that uses CBF along with K-means clustering and TF-IDF to recommend suitable skills and courses based on students' career interests [12]. Creating a content-based recommender system entails recommending things that are comparable to those that the user has previously preferred. These systems are scalable, perform well regardless of the number of users in the system, and do not have cold start concerns because they take into account a user's prior preferences and an item's characteristic. However, these systems require sufficient information about the object to be provided in order to accurately discriminate items; otherwise, accuracy suffers.

Hybrid Recommender

Hybrid recommender systems combine different types of recommender systems to ensure that they complement one other by compensating for one type's deficiencies with the strengths of the other. In order to solve the ramp-up problem, collaborative filtering is frequently supplemented with other techniques. The main goal of a hybrid system is to improve recommendation accuracy as well as to avoid certain drawbacks (e.g., new items and, new user problems) of traditional recommender approaches. Nina Hagemann et al. proposed a hybrid recommender system consisting of two components. First, a traditional content-based recommender to find candidates that have the same content as in the student's profile; Meanwhile a hierarchical taxonomy is developed to prioritize candidates from outside the student's program area. Zameer Gulzar et al. developed a hybrid RS that can be integrated to reinforce the efficiency of an E-Learning system, and focused on N-gram query classification for retrieving expansion-based information along with ontology support.

Association Rule Mining

The Rule Mining approach focuses on recommending a series of items to a user by discovering the interrelation between each item such as selling amount, as a rule. As regards course selection, the recommendation could be a series of courses that students prefer taking those courses. Sh.Asadi et al. built a course recommender model to assist in course section decision-making. Clustering was used to begin the process since it was necessary to obtain a better understanding of the students and their characteristics. Students with similar interests, skills, and behaviors were identified using the given technique. Then, in each cluster, fuzzy association rules were mined with the goal of evaluating patterns in student course parts as well as the associations between them.

Algorithms

There are a number of algorithms employed to extract and cluster complex and huge masses of data. In our work, the following algorithms were found: s-means fuzzy algorithms, SVD-based algorithm, genetic algorithm, Pearson Correlation Coefficient, ALS algorithm, fuzzy association rules mining algorithm, N-gram query classification, TF-IDF. One of the algorithms which were found in many proposed recommendation systems is K-nearest-neighbor algorithm owing to its ease to use and high efficiency [4, 2, 9]. K-nearest Neighbour is a simple algorithm that keeps all accessible cases that classify new base based on a similarity measure (e.g., distance functions). In the proposed advising system [9], the high performance, merit performance, and low-performance students groups were identified by the K-means algorithm. Unlike the recommended algorithms above, Viddhelsh et al. utilized the c-means fuzzy algorithm to arrive at a better solution to predict an elective course for students.

The c-means fuzzy algorithm optimizes
$$\sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} u_{ij}^m (x_i - \mu_j)^2$$

where u_{ij} is membership value of point x_i to cluster c_j , μ_j is center of cluster j and m is the level of fuzziness.

The membership value u_{ij} is given as
$$u_{ij}^m = \frac{1}{\sum_{l=1}^k k \frac{(|x_i - c_j|)^{\frac{2}{m-1}}}{|x_i - c_k|}}$$

This approach implies that even if a student belongs to a cluster with a low degree of belonging, there is a high possibility that it has an output that is comparable to the cluster that is currently being looked after.

Table 2. Use of Algorithms for recommendation systems.

| | | |
|----|---|-----------------|
| 1 | <i>S-means fussy algorithm</i> | [6] |
| 2 | <i>SVD – based algorithm</i> | [8] |
| 3 | <i>Genetic algorithm</i> | [1] |
| 4 | <i>Pearson Correlation Coefficient</i> | [3] |
| 5 | <i>ALS algorithm</i> | [3] |
| 6 | <i>Fuzzy association rules mining algorithm</i> | [2,14] |
| 7 | <i>K-means algorithm</i> | [2,4,5,9,12,14] |
| 8 | <i>N-gram query classification</i> | [10] |
| 9 | <i>TF-IDF</i> | [12,7] |
| 10 | <i>Multi-Layer Perception Algorithm</i> | [13] |

Proposed prototypes

The growing interest in recommendation system has generated a lot of research and works devoted to the analysis and interpretation of huge volumes of academic data. Figure 2 shows a summary of the main characteristics of each proposal. It is considered both student and course specific criteria, as well as, the similarity measures utilised that a key element in the PS s for the students and courses more similar. It is relevant to highlight that most proposals use one or two criteria and one or two similarity measures.

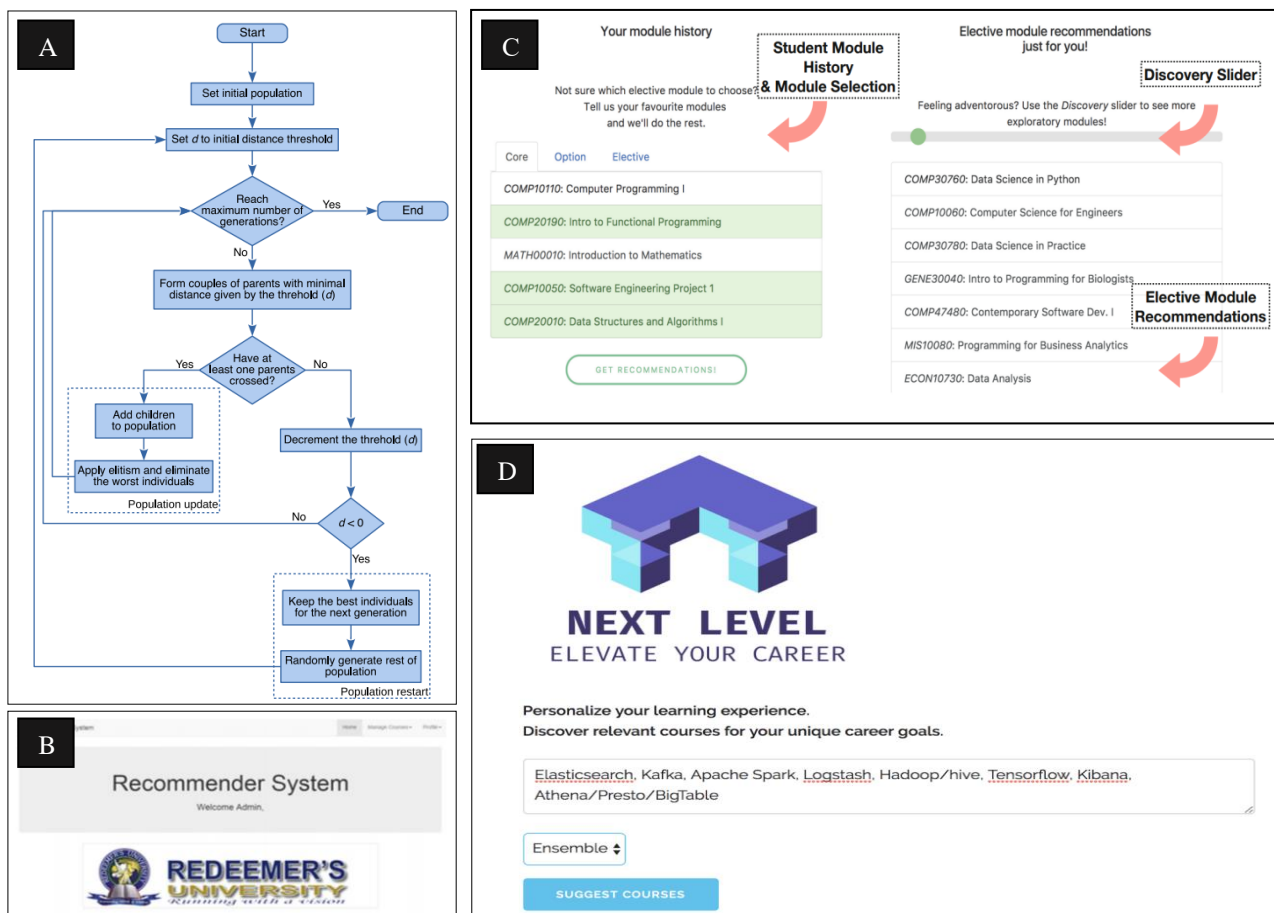


Figure 2. Interfaces of some analyzed prototypes (A) [1], (B) [4], (C) [7] and (D) [12].

A. Esteban an et al. proposed a model (Figure (A)) in a hybrid multi-criteria RS for university course recommendation. The suggested approach uses several tools such as CF based on neighborhood, CBF, and semantic analysis to mix inputs from the student and the course. An adapted Genetic Algorithm (GA) was utilized to create intelligible models in which they could manage the relevance of each criterion in the

recommendations and acquire the best configuration of all RS parameters, such as similarity measures and number of neighbors. Genetic algorithm (GA) employed consists of several features as following:

- The GA is used as a pre-recommendation system stage (RS). As a result, GA optimizes the parameter setup of RS using training data. The RS is then configured according to these characteristics, and customized user recommendations can be made. The goal is that the GA does not increase the amount of time it takes to compute each recommendation.
- The GA examines the weight optimization for each criterion in both the CF and CBF systems. As a result, each factor will be relevant in determining the final recommendation.
- The GA takes into account the optimization of similarity measurements. Thus, each criterion can employ a variety of similarity measures, with the GA selecting the best appropriate for each.
- The GA takes into account the CF system's neighborhood size optimization. Thus, the size of the neighborhood will be optimized to the best value.
- The GA explores how to optimize the hybrid system's outputs. Thus, the GA will assign a weight to each system employed in hybrid RS to determine its importance.

Adewale Opeoluwa Ogunde et al used a collaborative filtering strategy based on the k-nearest Neighbour algorithm to uncover hidden linkages between previously passed relevant courses and currently available elective courses (Figure (B)). The recommendation model was built and tested using a dataset of real-life student results. The novel model was discovered to outperform previously published results. The established approach will not only assist students better their academic performance, but it will also help level advisers and school counsellors minimize their workload. In their research, the recommender system was created to include a knowledge base with collected experience as well as a set of rules for applying the knowledge base to each specific circumstance stated. The recommendation model and k-nearest Neighbour decision tree were created using WEKA, a popular data mining tool. This approach was used to predict rules and was implemented in a front-end web application.

Nina Hagemann et al. created a prototype web tool (Figure (C)), as illustrated in Figure B, to assist students in finding appropriate elective modules. This application contains a personalized recommender system that allows students to select modules from their module history and receive recommendations for elective courses depending on their selection. Students can adjust the degree of discovery in the recommendations made using a slider. Moving the slider adds diversity to the recommender system's algorithm and provides a natural justification for the modules that are recommended. As a result, students are able to gradually explore modules outside of their subject of study and increase their understanding of the various modules accessible. To generate recommendations, the suggested hybrid recommender has two components. The first component identifies applicants who are most likely to succeed. The first component prioritizes candidates with content comparable to those in the student's profile; a typical content-based (CB) recommender is utilized for this purpose. The second component prioritizes candidates who are not in the student's program area; in this scenario, a hierarchical taxonomy of the available programs of study and associated modules is constructed, and candidates who are the most distant from the student's profile are recommended.

Shehba Shahab developed a novel Next level approach in her paper " Next level: a course recommender system based on career interests " which has various advantages over previous course recommender systems(Figure (D)). They presented a course recommender system that uses content-based filtering and an ensemble learning method using k-means clustering and TF-IDF to suggest suitable skills and courses based on the career interests of students in her paper. The approach's fundamental premise is to portray both users and courses using skills as features. The vector space approach represents queries and courses as vectors in a high-dimensional space, with each vector corresponding to a phrase in the collection's vocabulary. Given a query vector and a set of courses vectors, choose the one that best fits your needs.

They rank the courses by computing the cosine similarity between them, given a query vector and a set of courses vectors, one for each course in the collection:

$$\text{similarity}(\overset{\rightarrow}{skill}, \overset{\rightarrow}{course}) = \frac{\overset{\rightarrow}{skill} \cdot \overset{\rightarrow}{course}}{|\overset{\rightarrow}{skill}| |\overset{\rightarrow}{course}|}$$

Similarity measures

CF using criteria is mostly student-related information, as ratings, grades and branches, while CBF based on criteria related to course information, as professors, theoretical and practical contents, competencies, and

knowledge area. In the paper of Asadi Sh et al. many features including demographics and educational background are used to cluster. Moreover, Bhumichitr K et al. proposed a recommendation system based on the similarity between the course templates of students as well as academic records based on user profiles were built. Bhaskar Mondal et al. proposed a machine learning approach to suggest relevant courses to students based on their learning history and past performance. A hybrid recommendation system was generated with professor and student information datasets. In their paper, Viddhelsh et al. propose a skill-based recommender system. The authors' method is based on finding similar students which will serve to shortlist courses that are suitable. A hybrid multi-criteria recommendation system was developed by A.Esteban et al, where they considered multiple criteria for course selection. The developed CF estimated similarity measures, including grades, ratings, and brand, while Content-based filtering similarity measures considered professors, competencies, knowledge area, contents of a course.

Recommender system evaluation

Recommendation system can be evaluated by standard information retrieval measures. The accuracy value is employed to measure the performance and effectiveness of the system using equation 2 [10]. In most papers, the system was tested on the basis of precision, recall and F-score.

Precision is the percentage of the number of recommended courses taken to the total number of recommended courses.

$$\text{Precision} = (\# \text{ of recommended courses taken}) / (\text{total} \# \text{ of recommended courses})$$

Recall is the percentage of the number of recommended courses taken to the total number of courses taken by the students [2].

$$\text{Recall} = (\# \text{ of recommended courses taken}) / (\text{total} \# \text{ of courses taken by students})$$

F-score is the harmonic means of precision and recall. It can be calculated using the formula [12]:

$$\text{F-score} = (2 * \text{precision} * \text{recall}) / (\text{precision} + \text{recall})$$

Conclusion

The application of recommender systems to suggest elective courses are now in demand. This growth can be related to need to make right decisions in opting for beneficial courses both educational and future job landing. In this paper, 14 papers are reviewed to have a clear insight to direction of given tendency. Through this literature review, the recommender systems techniques and data extracting algorithms were identified. While collaborative filtering approaches will give accurate results in a traditional sense, it will not help the problem of discoverability of modules as it promotes primarily already popular modules. We have concluded that hybrid recommendation system comes with the following advantages:

1. Hybrid recommender systems combine different types of recommender systems to ensure that they complement one other by compensating for one type's deficiencies with the strengths of the other.
2. It can improve recommendation accuracy as well as to avoid certain drawbacks (e.g., new item and, new user problems) of traditional recommender approaches.

References:

- 1 Esteban A., Zafra A., and Romero C., "Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization," *Knowledge-Based Systems*, vol. 105385, p. 105385, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.105385>
- 2 Al-Badarenah A and Alsakran J., "An automated recommender system for course selection," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 7, no. 3, 2016. DOI : [10.14569/IJACSA.2016.070323](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070323)
- 3 Bhumichitr K., Channarukul S., Saejiem N., Jiamthapthaksin R., and Nongpong K., "Recommender Systems for university elective course recommendation," in *2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 2017. DOI: [10.1109/JCSSE.2017.8025933](https://doi.org/10.1109/JCSSE.2017.8025933)
- 4 Adewale Opeoluwa Ogunde E. A., "A K-Nearest Neighbour Algorithm-Based Recommender System for the Dynamic Selection of Elective Undergraduate Courses," *International Journal of Data Science and Analysis*, vol. 5, no. 6, pp. 128–135, 2019. DOI: [10.11648/j.ijdsa.20190506.14](https://doi.org/10.11648/j.ijdsa.20190506.14)
- 5 Mondal B., Patra O., Mishra S., and Patra P., "A course recommendation system based on grades," 2020, p. 9132845. DOI: [10.1109/ICCSEA49143.2020.9132845](https://doi.org/10.1109/ICCSEA49143.2020.9132845)
- 6 Sankhe V., Shah J., Paranjape T., and Shankarmani R., "Skill based course recommendation system," in *2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 2020. DOI: [10.1109/GUCON48875.2020.9231074](https://doi.org/10.1109/GUCON48875.2020.9231074)

- 7 Hagemann N., O'Mahony M. P., and Smyth B., "Module Advisor: Guiding Students with Recommendations." pp. 319–325, 2018.
- 8 Srisujjalertwaja D. P. A., "Elective course recommendation model for higher education program" Songklanakarin J. Sci. Technol, no. 40 (6), pp. 1232–1239, 2018. DOI:[10.14456/sjst-psu.2018.151](https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2018.151)
- 9 Ganeshan K. and Li X., "An intelligent student advising system using collaborative filtering," in 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2015. DOI: 10.1109/FIE.2015.7344381
- 10 Gulzar Z., Anny Leema A., and Deepak G., "PRCS: Personalized course recommender system based on hybrid approach," in 6th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC 2017, 2017, pp. 518–524.
- 11 Chang P.-C., Lin C.-H., and Chen M.-H., "A hybrid course recommendation system by integrating collaborative filtering and artificial immune systems," Algorithms, vol. 9, no. 3, p. 47, 2016. DOI:[10.3390/a9030047](https://doi.org/10.3390/a9030047)
- 12 Shahab S., "Next level: a course recommender system based on next level: a course recommender system based on career interests" San-Jose State University, Master's thesis, 2019. Retrieved from https://scholarworks.sjsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1684&context=etd_projects
- 13 Samrit N. B., "A recommendation system for prediction of elective subjects," Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol., vol. V, no. IV, pp. 36–43, 2017. DOI:[10.22214/IJRASET.2017.4007](https://doi.org/10.22214/IJRASET.2017.4007)
- 14 Asadi Sh., Jafari S.M., and Shokrollahi Z., "Developing a Course Recommender by Combining Clustering and Fuzzy Association Rules," Journal of AI and Data Mining, vol. 7, no. 2, pp. 249–262, 2017. DOI:10.22044/jadm.2018.6260.1739

А.А. Зиро ^{1*}, Д.Р. Турсумбаев ², Ж.А. Жайбергенова ³, Ш.Д. Тойбаева ⁴

¹ *Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан*

² *Satbayev University, Алматы қ, Қазақстан*

³ *Astana IT University, Нұр-Сұлтан қ, Қазақстан*

⁴ *Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және байланыс университеті, Алматы қ, Қазақстан*

**e-mail: ziro.aasso@gmail.com*

WHITE BOX ӘДІСІ КӨМЕГІМЕН ЕНГІЗУ ТЕСТІН ӨТКІЗУ

Аңдатпа

Мақалада енуді тексеру әдістері қарастырылады. Ақпараттық жүйенің қолжетімді желілерін оған заңсыз енуден қорғалу деңгейін бағалау мүмкіндігін енгізу тесті деп атаймыз. Тесттің мәні – ақпараттық жүйеге рұқсатсыз кіруге мүдделі киберқылмыскердің көзімен қарау арқылы қауіпсіздік жүйесіндегі кемшіліктерді анықтау. Сценарий бойынша, енгізу сынағын жүргізген кезде, мамандар зерттелетін ақпараттық жүйе туралы бастапқы деректердің басқа көлеміне ие болуы мүмкін – ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қолданылатын аппараттық және бағдарламалық шешімдер туралы ақпараттың толық болмауынан бастап, оның құрылымы мен ұйымдастырылуы туралы барлық ақпараттың қолжетімсізділігіне дейін. Интернет-ресурсқа зерттеу жүргізілді және ақпараттық қауіпсіздік аудиторының осалдықты жою туралы ұсынысы ұсынылды. SecOps әдістемесі зерттелді, ол ақпараттық қауіпсіздік аудиторына ұйымдағы процестерді автоматтандыру және ондағы осалдықтарды уақытша анықтау арқылы қауіпсіздік мәселелерін шешуге көмектеседі.

Түйін сөздер: аудит, ену тест, ақпараттық қауіпсіздік, SecOPs, IDS, кодты талдау, Kali Linux.

Аннотация

А.А. Зиро ¹, Д.Р. Турсумбаев ², Ж.А. Жайбергенова ³, Ш.Д. Тойбаева ⁴

¹ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

² *Satbayev University, г. Алматы, Казахстан*

³ *Astana IT University, г. Нур-Султан, Казахстан*

⁴ *Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Казахстан*

ПРОВЕДЕНИЕ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА WHITE BOX

В статье рассматриваются методы тестирования на проникновение. Тест на проникновение является возможностью оценить уровень защиты информационной системы от незаконного проникновения в нее из сетей общего доступа. Суть теста состоит в том, чтобы выявить недостатки системы безопасности, взглянув на нее глазами киберпреступника, который заинтересован в получении несанкционированного доступа в информационную систему. При проведении теста на проникновение, в зависимости от сценария, специалисты могут иметь разное количество исходных данных об изучаемой информационной системе. От полного отсутствия информации об используемых аппаратных и программных решениях, обеспечивающих информационную безопасность, до наличия всех сведений о ее структуре и организации. Проведено исследование интернет-ресурса и предложена рекомендация от аудитора информационной безопасности по устранению уязвимости. Исследована методология SecOps, помогающая аудиторю информационной безопасности решить проблемы безопасности за счет автоматизации процессов в организации и свое временному обнаружению уязвимости в ней.

Ключевые слова: аудит, тестирование на проникновение, информационная безопасность, SecOPs, IDS, анализ кода, Kali Linux.

Abstract

CONDUCTING PENETRATION TESTING USING THE WHITE BOX METHOD

Ziro A.¹, Tursumbayev D.², Zhaibergenova Zh.³, Toibayeva Sh.⁴

¹ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

² *Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

³ *Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

⁴ *University of Power Engineering and Telecommunications (AUPET) named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan*

Penetration testing is an opportunity to assess the level of protection of an information system from illegal penetration into it from public networks. The essence of the test is to identify the flaws in the security system by

looking at it through the eyes of a cybercriminal who is interested in gaining unauthorized access to the information system. When conducting a penetration test, depending on the scenario, specialists may have a different amount of initial data about the studied information system. From the complete lack of information about the hardware and software solutions used to ensure information security, to the availability of all information about its structure and organization. The SecOps methodology has been investigated, which helps the information security auditor to solve security problems by automating processes in the organization and his temporary detection of vulnerabilities in it.

Keywords: information Security, audit, penetration testing, SecOPs, IDS, code analysis, Kali Linux.

Кіріспе

Нақты енгізу сынағының мақсаты, шынайы өмірдегі шабуылдағыдай, пайдаланушы мен әкімші тіркелгілеріне, дерекқорларға, құпия ақпаратқа және т.б. рұқсатсыз қол жеткізу болып табылады.

Тестілеу кезінде мамандар зерттелетін жүйенің қауіпсіздік жүйесіндегі осалдықтарды іздеу бойынша барлық әрекеттерді, сондай-ақ белгілі бір шабуылдар жасалған уақытты тіркейді. Бұл деректердің барлығы автоматтандырылған жүйелердің, ақпараттық жүйенің қауіпсіздігін қамтамасыз ететін мамандардың шабуылдарына қарсы әрекет ету тиімділігін талдауға мүмкіндік беретін есепте қамтылған.

Көптеген стандарттар мен әдіснамалардың (OSSTMM, OWASP, BSI, PTES және т.б.), сондай-ақ ену тестілеуін жүргізу құралдарының қолданылуына байланысты аудиторға ең тиімді әдістемелер мен құралдарды тез тандап, практикада қолдану қиынға соғуы зерттеудің ғылыми-техникалық маңыздылығы болып табылады. Осыған байланысты зияткерлендірілген әдістерді (AI / ML негізінде) және пентестинг құралдарын әзірлеу және зерттеу маңызды ғылыми және практикалық маңызы бар өзекті және уақтылы ғылыми міндет болып табылады.

Pentest концепциясы

Пенетрациялық тестілеу (қысқартылған Pentest) [1] – хакерлік шабуылдарды имитациялау арқылы компьютерлік жүйелердің қауіпсіздігін бағалау әдісі болып табылады. Pentest-тің классикалық тұжырымдамасынан басқа, басқа мақсаттарды көздейтін Red teaming тұжырымдамасы бар [2]. Екі жағдайда да тестілеу әдістемесі аса ерекшеленбейді, енгізу жағдайында мамандар тобы жүйедегі осалдықтардың максималды санын табуға тырысады, содан кейін табылған осалдықтар туралы есеп пен оларды жою бойынша ұсыныстар жасайды. Red teaming жағдайында қызыл команданың жүйедегі барлық осалдықтарды табу міндеті жоқ, олар белгілі бір мақсатты көздейді, мысалы, домен әкімшісін кез келген әдіспен басып алу немесе клиенттік дерекқорға кез келген жолмен қол жеткізу. Классикалық ену сынағы бойынша мамандар орындайтын барлық әрекеттер нақты регламенттерге ие: орындалатын жұмыстардың мерзімдері, жүйемен өзара әрекеттесу деңгейіндегі шектеулер және т.б. Red teaming жағдайында мамандар ешқандай шектеулерге ие емес және нақты ауқымды шабуылды барлық ықтимал құралдарды пайдалана отырып жүргізеді, олар мыналарды қамтиды: физикалық қол жеткізу, әлеуметтік инженерия (бұл классикалық ену сынағы кезінде жиі тыйым салынады) [3].

Ұсынылған шешім

Осы жұмыстың бір бөлігі ретінде веб-қосымшаның енгізу тестілеуін жүргізу әдістемесі сипатталатын болады, ол мыналарды қамтиды: енгізуге тестілеу кезеңдері, қолданылатын бағдарламалық құралдар, сынақ нәтижелері туралы есеп беру және т.б.

№1 кезең – Келісім-шарт жасау және техникалық шарттарды дайындау. Ең алдымен, тестілеу қызметтерін ұсынатын компания мен тапсырыс беруші арасында барлық тестілеуді өткізбес бұрын, келісім мен техникалық тапсырма жасалуы керек. Ол тапсырыс берушінің қажеттіліктерін нақты сипаттауы керек: жұмыс көлемі (сынақтан өткен веб-ресурстар), қолданылатын және тыйым салынған тестілеу әдістері (көбінесе, әлеуметтік инженерия, веб-ресурстың жұмыссыздығы және тапсырыс берушінің ақпараттық жүйесіне физикалық қол жеткізуге тыйым салынады), тестілеу нәтижелеріне есеп беру талаптары, тестілеу әдістемесі, қолданылатын стандарттар және т.б.

№2 кезең – Ақпаратты жинау. Келісімшарт жасалғаннан кейін және барлық қажетті құжаттарды бекіткеннен кейін мамандар енгізу сынағын өздері жүргізетін болады. Енгізу тестілеуін жүргізу кезінде негізгі кезеңдердің бірі ақпарат жинаудың пассивті әдістерін де, сонымен қатар белсенді әдістерін қамтитын мақсат туралы ақпаратты жинау болып табылады:

- қосалқы домендер – егер техникалық тапсырмаға сәйкес домен * .example.kz ретінде көрсетілсе, онда бірінші қадам барлық қолжетімді қосалқы домендерді жинау болып табылады. Негізгі домен

мен ішкі домендер бір серверде орналасуы мүмкін болғандықтан, шабуылдаушы бір доменді бұзып, басқа домендерге қол жеткізуге тырысуы мүмкін. Ішкі домендерді жинау үшін келесі құралдарды пайдалануға болады: theHarvester, knockpy, gobuster, dnsmap және т.б. [4].

- мақсатты сканерлеу – ақпаратты қолмен жинаудан басқа, кейбір осалдықтарды анықтауды қоса, мақсатқа қатысты көптеген ақпаратты жылдам жинауға мүмкіндік беретін көптеген автоматтандырылған тексерулер (сканерлер) бар. Кейбір сканерлер арнайы CMS (wpscan, joomscan, drupwn) үшін бағытталған, кейбіреулері нақты бағдарламалау тілдеріне арналған, кейбір сканерлер үлкенірек және кез келген дерлік жүйені тексереді, мұндай сканердің мысалы Acunetix болып табылады. Ең жиі қолданылатын құрал nmap болып табылады, ол ашық порттар мен ашық порттарда жұмыс істейтін бағдарламалық жасақтама үшін мақсатты сканерлеуге мүмкіндік береді. Nmap сонымен қатар осалдықтарды анықтаумен қоса көптеген автоматтандырылған тексерулерді орындай алатын NSE сценарийлерін қолданады [5].

- каталогтар мен файлдар – веб-қосымшада бар каталогтар мен файлдарды қайталау болып табылады. Көбінесе әкімшілер құрама шабуылдарда пайдаланылатын немесе веб-ресурсты бұзуға тікелей әкелетін маңызды деректерді қамтитын файлдарды немесе каталогтарды жалпыға қолжетімділік үшін қалдыра алады. Бұл файлдар мен қалталарға мыналар жатады: жалпыға ортақ домендегі жүйелік каталогтар мен файлдар, конфигурация файлдары, сақтық көшірмелер, логиндер мен құпия сөздері бар файлдар, әкімшілік функциялар және т.б. Сіз файлдар мен каталогтарды келесі құралдарды пайдалана отырып таба аласыз: feroxbuster, gobuster, dirb, BurpSuite, dirsearch және т.б. Әдетте, мұндай ақпаратты іздеу үшін ғаламтордан табуға болатын үлкен сөздіктер пайдаланылады, бірақ ең тәжірибелі мамандар әртүрлі көздерден, соның ішінде өз тәжірибесінен жинақталған өз сөздіктерін пайдаланады [6].

- ашық көздерден ақпарат жинау. Ашық көздер – мақсат туралы жалпыға ортақ ақпаратты қамтуы мүмкін веб-ресурстар. Бұл көздерге GitHub кіреді [7], ол әзірлеу кезеңінде әкімші ұмытып кеткен веб-бағдарламаның барлық бастапқы кодын қамтуы мүмкін. Мұндай кодта көбінесе деректер қорларынан, FTP серверлерінен және т.б. логиндер мен парольдер болады. Мұндай ақпарат маманға Black Box тестілеуінен White Box тестілеуіне көшуге және осалдықтардың бастапқы кодын тиімдірек талдауға мүмкіндік береді, бұл аса маңызды осалдықтарды табу мүмкіндігін арттырады. Мақсат туралы ақпаратты табудың жалпыға ортақ құралы ретінде Dorks болып табылады [8]. Бұл нақты іздеу сұрауларының жаргон атауы, оның көмегімен Google іздеу жүйесі арқылы неғұрлым мұқият іздеу қамтамасыз етіледі. Жоғарыда аталған құралдардан басқа мақсатты жүйені пайдаланушылардың логин мен құпия сөздері бар тарап кеткен дерекқорлардағы тарап кетулерді автоматты түрде іздей алатын құралдар бар.

3 кезең – осалдықтарды қолмен іздеу. Fuzzing - жоғарыда аталған деректердің барлығын жинағаннан кейін, маман веб-ресурспен тікелей өзара әрекеттесуге кіріседі, бұл табылған ақпараттарды, функционалдылықты зерттеуді және ондағы осалдықтарды fuzzing әдісі арқылы іздеуді білдіреді [6]. Fuzzing - бұл веб-қосымшада аномальды әрекетті тудыруы мүмкін қолданба енгізуіне арнайы жасалған деректерді жіберуді қамтитын веб-қосымшаны тексеру әдісі. Арнайы жасалған пайдалы жүктемелер деректері деп аталады. Қандай пайдалы жүктемелерді беру керектігін маман веб-қосымшаларды сынау тәжірибесін жинақтау процесінде түсіне бастайды, пайдалы жүктемелердің әртүрлі түрлері көптеген факторларға байланысты әртүрлі аномальды мінез-құлық тудыруы мүмкін: веб-ресурс жазылған бағдарламалау тілі, пайдаланылатын дерекқор. , т.б. Мысалы, дерекқор сұрауларының синтаксисінде жалғыз және қос тырнақшалар қолданылады, егер әзірлеуші пайдаланушыдан келетін деректерді сүзу туралы қамқорлық жасамаса, маман тырнақшаны өткізіп, аномальды әрекетті анықтауға тырысады, олар бірге пайдалы жүктеме түрімен маманға SQL инъекциясының мүмкіндігін түсіндіреді [9].

4-кезең – Post эксплуатация және артықшылықтарды кеңейту. Post эксплуатация және артықшылықты ұлғайту - егер сыни осалдық табылса және осал жүйеде қашықтан кодты орындау мүмкіндігі алынса, маман серверде өзінің артықшылықтарын жоғарылату кезеңіне өтеді. Егер ол өзінің артықшылықтарын Әкімшіге немесе түбірлік деңгейге дейін ұлғайта алса, жүйенің толық компромиссі жасалады, артықшылықтардың осы деңгейіне қол жеткізген шабуылдаушы кез келген манипуляцияны дерлік орындай алады [10].

5-кезең – Есеп беру. Енгізу тестілеуінен кейін маман табылған осалдықтар туралы есеп жасайды, онда мыналар болуы керек: табылған осалдықтардың әрқайсысын пайдалану кезеңінің толық сипаттамасы, табылған осалдықтардың әрқайсысын жою бойынша толық ұсынымдар, градация. Есеп

беруде OWASP Top 10 немесе сипаттамасы бар басқа әдістеме бойынша осалдықтар, сенімді көздерден осалдықтың сипаттамасы және оны жою бойынша ұсыныстары бар қосымша материалдарға сілтемелер, маман орындаған әрекеттердің сипаттамасы және пайдаланылатын құралдардың атауы, егер олар шабуылға жол бермесе, маман тап болған қорғаныс құралдары туралы ақпарат жазылады [11].

Енгізу тестілеуінен кейін аудитор іске кіріседі, оның мақсаты - енуді тексеру нәтижелері бойынша компанияның ішкі процестеріндегі әлсіз жақтарды қоса алғанда, барлық сәйкессіздіктерді анықтау болып табылады. Мұндай мысал ретінде енуді тестілеу кезінде табылған сыни SQL инъекциялық осалдықты келтіруге болады, аудитор үшін осалдықтың осы түрінің болуы веб-ресурсты әзірлеушілер арасында ақпараттық қауіпсіздік саласындағы құзыреттіліктің жоқтығын көрсетеді. Компанияның барлық қызметкерлері жүйелі түрде ақпараттық қауіпсіздік бойынша хабардар болу курстарынан, біліктілікті арттыру курстарынан, кибергигиена курстарынан және т.б. өтуі керек. Әзірлеушілер әртүрлі салаларда, соның ішінде ақпараттық қауіпсіздікті қоса алғанда, кәсіби даму курстарынан өтуі керек, бұл әзірлеушілердің біліктілігін, олардың хабардарлығын арттырады және осал веб-қосымшалар кодын жазу мүмкіндігін азайтады. Дегенмен, бұл осалдықтың пайда болуы бірқатар жұмыс істемейтін процестерді көрсетуі мүмкін: веб-серверді конфигурациялау процедурасы зардап шегеді, орнатылған брандмауэр дұрыс конфигурацияланбаған, осыған байланысты тестілеу кезінде пайдалы жүктеме байқалмайды, SIEM жүйесі дұрыс жұмыс істемейді, бұл көрінбейтін шабуылға әкеледі және т.б. [12].

Нәтижесінде аудитор тек сынақ нәтижелері туралы есепке сүйене отырып, ұйымның ішкі процестеріндегі көптеген сәйкессіздіктерді анықтай алады.

Келесі қадам тестілеу кезінде табылған осалдық туралы есеп негізінде шағын мысалды қарастыру болып табылады. White Box әдісін қолдану арқылы тестілеу нәтижесінде веб-ресурстың әкімшілік тіркелгісін ұрлауға мүмкіндік беретін жоғары деңгейдегі осалдық анықталды:

Қауіпсіз нысанды десериализациялау + Type Juggling арқылы есептік жазбаны ұрлау

OWASP Top 10 рейтингі бойынша: A2:2017 - бұзылған аутентификация

Ауырлығы: жоғары

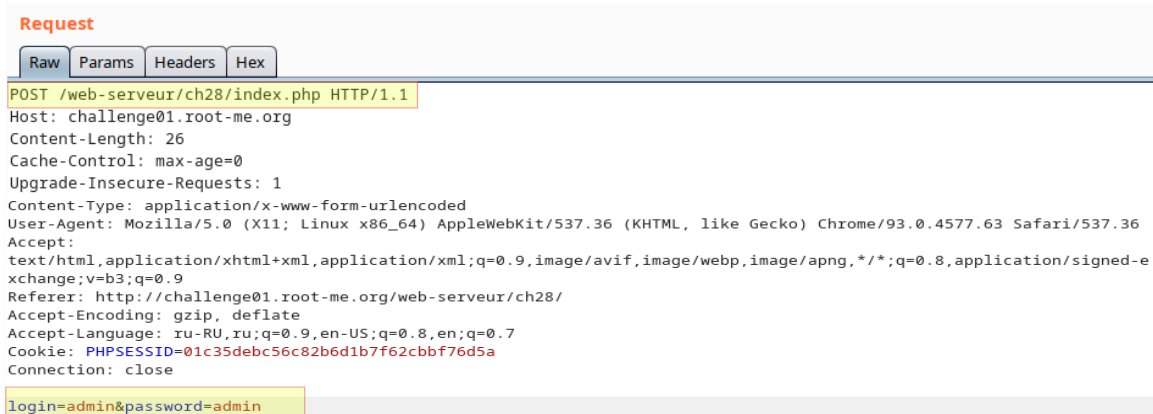
Бастапқы осал код: /web-serveur/ch28/index.php

Осал жолдар: 15-30

Сипаттама: <http://challenge01.root-me.org/web-serveur/ch28/> жолында веб-ресурстың басқару панелінде авторизация пішіні табылды; бастапқы кодты талдау кезінде көптеген осалдықтар анықталды, олар шабуылдаушыға веб-ресурстың әкімші тіркелгісін басып алуға рұқсат бере алады. 1-суретте авторизация нысаны, 2-суретте авторизация сұранысы.



Сурет 1. Рұқсат беру нысаны



Сурет 2. Авторизация сұранысы

Осалдықты жаңғырту 3 суретте көрсетілген:

```

***** AUTHENTICATION *****/
// login / passwords in a PHP array (sha256 for passwords) !
require_once('./passwd.inc.php');

15  if(!isset($_SESSION['login']) || !$_SESSION['login']) {
16      $_SESSION['login'] = "";
17      // form posted ?
18      if($_POST['login'] && $_POST['password']){
19          $data['login'] = $_POST['login'];
20          $data['password'] = hash('sha256', $_POST['password']);
21      }
22      // autologin cookie ?
23      else if($_COOKIE['autologin']){
24          $data = unserialize($_COOKIE['autologin']);
25          $autologin = "autologin";
26      }
27
28      // check password !
29      if ($data['password'] == $auth[ $data['login'] ] ) {
30          $_SESSION['login'] = $data['login'];

```

Сурет 3. Бастапқы осал код

1. Сәтсіз авторизация әрекетінің нәтижесінде суперәкімші пайдаланушысының хабарламасы көрсетіледі, ол жүйеде жоғары артықшылықтарға ие superadmin атты пайдаланушы бар екенін көрсетеді.

2. Пайдаланушыны авторизациялау кезінде код деңгейінде логин мен пароль параметрлерінің POST арқылы берілуі тексеріледі. Параметрлерді пайдаланушы жіберген болса, осалдықты жүзеге асыру мүмкін емес.

18 жол

Код: `if($_POST['логин'] && $_POST['пароль']) {.....}`

3. Егер логин мен пароль параметрлері өткізілмесе, автологин параметрі COOKIE файлына жіберілді ме, басқа шарт тексеріледі. Бұл шарттың денесі COOKIE файлында автологин параметріне жіберілген нысанды қауіпті сериядан шығаруды орындайды.

23 жол

Код: `if($_COOKIE['autologin']) {.....}`

4. Осалдықты іске асыру үшін кейінірек сериядан шығару функцияларына енетін сұраудағы COOKIE автологин параметрін ғана беру қажет. Автологин параметрі сүзгіден өтпегендіктен, шабуылдаушы өзінің серияланған нысанын өткізе алады, осылайша деректер массивінің мәндерін және оның логин мен құпия сөз мәндерін өзгертеді.

24 жол

Код: `$ деректер = сериядан шығару($_COOKIE['autologin']);`

5. Деректер массивінің логин мен пароль мәндерін шабуылдаушы қауіпті сериядан шығару арқылы өзгерткеннен кейін, бұл мәндер айнымалылар арасында типсіз салыстыруды білдіретін Туре Juggling осалдығын қамтитын салыстыру функциясына беріледі. Айнымалылар арасындағы салыстыру қауіпсіз салыстыру операторы емес екі тең (==) пайдаланылады.

29 жол

Код: `if ($ деректер ['пароль'] == $ аутентификация [$ деректер ['логин']]) {... ..}`

6. Әртүрлі пайдалы жүктерді тасымалдау нәтижесінде, егер сіз біреуге (1) тең құпия сөзді өткізсеңіз, онда бір және хэширленген пароль мәнін типтелмеген салыстыру арқылы, салыстыру нәтижесі True және шабуылдаушы болатыны анықталды. логин пайдаланушының құпия сөзін білмей ауысқан пайдаланушының астында авторизациялай алады, бұл жағдайда superadmin, 4-сурет.

Пайдалы жүктеме: `a: 2: {s: 5: "логин"; s: 10: "superadmin"; s: 8: "password"; b: 1;}, 5-сурет.`

```

Request
Raw Params Headers Hex
POST /web-serveur/ch28/index.php HTTP/1.1
Host: challenge01.root-me.org
Content-Length: 0
Cache-Control: max-age=0
Upgrade-Insecure-Requests: 1
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/93.0.4577.63 Safari/537.36
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/avif,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Referer: http://challenge01.root-me.org/web-serveur/ch28/
Accept-Encoding: gzip, deflate
Accept-Language: ru-RU,ru;q=0.9,en-US;q=0.8,en;q=0.7
Cookie: PHPSESSID=01c35debc56c82b6d1b7f62cbbf76d5a;
autologin=a%3a2%3a{s%3a5%3a"login"%3bs%3a10%3a"superadmin"%3bs%3a8%3a"password"%3bb%3a1%3b}
Connection: close
    
```

Сурет 4. Пайдалы жүктемесі бар авторизация сұрауы



Сурет 5. Superadmin атымен авторизация

Осалдықты жою бойынша ұсыныстар

1. Бұл жағдайда автологин параметрінде СООКІЕ сериясын жою үшін пайдаланылатын код артық болып табылады және пайдаланушыны авторизациялау процесіне қатыспайды, егер ол пайдаланылмаса, бұл кодты жою ұсынылады.

2. Егер жоғарыда аталған код пайдаланылса, пайдаланушыдан келетін параметрлерді сүзуді, соның ішінде серияланған нысандарды іске асырудан сүзуді жүзеге асыру ұсынылады.

3. Түзету режимін өшіріңіз.

4. Type Juggling осалдығын жою үшін терілген мәнді салыстыруды пайдалану ұсынылады, яғни. екі (==) орнына үш бірдей (===). Үш тең мәнді пайдаланған кезде, салыстырылатын айнымалылардың мәндерінен басқа, салыстырылатын айнымалылардың деректер түрі де тексеріледі.

Осы осалдық туралы есепке сәйкес аудитор компанияның ішкі процестеріндегі көптеген сәйкессіздіктерді анықтай алады:

1. Осы қосымшаны әзірлеушілер әкімшілік аймаққа рұқсат беру панелін әзірлеу кезінде көптеген өрескел қателіктер жіберді, бұл олардың құзыретінің жоқтығын және, ең алдымен, ақпараттық қауіпсіздік саласындағы әзірлеушілердің біліктілігін арттыру бойынша тұрақты курстардың жоқтығын көрсетеді [13].

2. Ұйымда бастапқы кодты автоматты сканерлеу құралдары жоқ, бұл қорытынды тестілеу кезінде табылған осалдықтардың танымалдығы туралы ақпаратқа негізделуі мүмкін, барлық заманауи бастапқы код сканерлері мұндай осалдықтарды анықтауға қабілетті.

3. Брандмауэрдің болмауы немесе дұрыс конфигурацияланбауы, бұл жағдайда тасымалданған пайдалы жүктеме байқалмады және осалдықты пайдалану сатысында тоқтатылды.

Бұл мысалда көрсетілгендей, егуге тестілеуден кейінгі аудиттің тиімділігі сынақ нәтижелері бойынша бірқатар сәйкессіздіктерді анықтауға қабілетті жеткілікті тиімді шара болып табылады.

Бүгінгі таңда көптеген компаниялар SecOps әдістемесін енгізуде [14], ол ақпаратты қорғау процесіне автоматтандыруды енгізуді білдіреді. ЕМА есебіне сәйкес, бұл әдістемені көбінесе бағдарламалық жасақтаманы әзірлеушілер, банктік және қаржылық ұйымдар, көтерме жеткізушілер, өндірістік кәсіпорындар және т.б. Әдетте, осы әдістемені енгізген компаниялар келесі көрсеткіштерді арттырады: деректер сапасы, ақпарат қауіпсіздігі туралы хабардар болу, пайдаланушылардың өзара әрекеттесуі жақсарды және ұйым ішіндегі ең тиімді процестерді жылдам анықтауға кірісті. Әдістеменің өз міндеттеріне мыналар кіреді: ұйымның қауіпсіздік деңгейін арттыру, ұйымды басқаруды жақсарту үшін командаларды біріктіру, ақпараттық қауіпсіздік және оның бизнес-процестерге қалай әсер ететіндігі туралы хабардар болу, сенімді құралдарды енгізу арқылы процестерді автоматтандыру [15].

SecOps әдістемесін енгізу процесі бірнеше кезеңнен өтеді: тәуекел аудиті, тәуекелді бағалау, ұйымдағы кибергигиеналық тексеру, бизнес-процестермен интеграция. Енгізу тестілеуінен кейін аудитор көптеген жұмыс істемейтін немесе жеткіліксіз жұмыс істейтін процестерді анықтай алатындықтан, SecOps әдіснамасын енгізу кезінде бұрын сипатталған процестерді реттеуге болады, ал кейбіреулерін автоматтандыруға болады. Мысалы, бұрын аудитордың мысалын қолдана отырып, ену тестісінің нәтижелері бойынша аудитор ұйымда бастапқы кодты автоматты түрде сканерлеуге арналған құралдардың жетіспеушілігін анықтады, бұл әзірлеушілер тарапынан анықталмаған қателердің пайда болуына және шабуылдаушы тарапынан осалдықтарды пайдалану мүмкіндігі. Бұл жағдайда әдістеменің мақсаты осалдықтарды табу үшін бастапқы кодты және қауіпсіздік сканерлерін талдаудың автоматтандырылған құралдарын енгізу болып табылады [16, 17]. Жоғарыда аталған автоматтандыруға қосымша, SecOps әдістемесі ұйымға пайдалы келесі құралдарды енгізуді білдіреді:

- бақылау тақталары – мәселені тезірек табу үшін жиналған ақпаратты жинау және визуализациялау;
- автоматтандыру – жиналған мәліметтерді автономды өңдеу және табылған қателерді жою үшін алгоритмдерді іске қосу (мысалы, дискілік кеңістікті босату үшін журналдарды тазалау);
- қателерді іздеу – қателерді автоматты түрде іздеу және анықтау құралдары;
- ортақ пайдалану - енгізілген жаңа технологиялар бойынша құжаттаманы жариялау;
- визуализация – мәліметтерді талдау және қарау құралдары;
- шабуылды модельдеу – шабуылдарды жіктеу және шабуылдар арасындағы байланыстарды сипаттайтын және ықтимал шешімдерді ұсынатын ортақ үлгіні құрастыру;
- және т.б.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде барлық кезеңдер сипатталған: ену тестілеуі және ақпараттық қауіпсіздік аудиті. Болашақта нейрондық желі мен AI көмегімен автоматтандыруға болатын осалдық көрсетілді. SecOps әдіснамасын енгізу ұйымның ақпараттық қауіпсіздігінің күрт артуына әкелуі керек. Бұл тәсіл ұйымның көптеген әлсіз жақтарын анықтауға мүмкіндік береді, содан кейін ақпараттық қауіпсіздік деңгейін жақсарту, ішкі процестерді құру және оларды автоматтандыру үшін қажетті шараларды қабылдайды. Барлық қажетті кезеңдерден өткеннен кейін, біз қазіргі уақытта қорғаудың жоғары деңгейіне ғана емес, сонымен қатар қауіптерді ерте анықтауға және автоматтандырылған, жұмыс істейтін ішкі процестерге қажетті барлық құралдарға ие ұйымды аламыз. Әрі қарайғы зерттеулерде параметрлер моделін және нейрондық желі моделін жасау жоспарлануда, оның негізінде IP-ды ену үшін тестілеудің интеллектуалды әдісін құру жоспарлануда.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Gnatyuk S *Critical Aviation Information Systems Cybersecurity?* NATO Science for Peace and Security IOS Press Ebooks, 2016. Vol.47. – №3. – P. 308-316.
- 2 National Institute of Standards and Technology *Special Publication 800-115 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-115, 80 pages (Sep. 2008)*
- 3 Goel S., Chen V. «*Information security risk assessment – a matrix-based approach*». University at Albany, SUNY. 2005.
- 4 Imran, M. S., & Mondal, S. A. (2013). *The effect of marketing audit to enhance company performance and marketing accountability*. Retrieved from <http://www.wbiconpro.com/523-Imran.pdf>. 73 Kamil VANA, L. C. (2014). *The Marketing Audit as a Method of the Evaluation of the Marketing Plan*. 132.
- 5 Kotler, P. (2002). *Marketing Management, Chapter3: Winning Markets Through Strategic Planning, Implementation, and Control (Eleventh ed.)*. New Jersey, USA: Pearson Custom Publishing.
- 6 Kotler, P.; Keller, K.L. (2009) *Marketing. Management, 13th edition, Pearson International Edition*
- 7 *Повышение привилегий и POST эксплуатация в Windows. Блог крупной организации занимающейся информационной безопасностью*. URL: <https://securixy.kz/own-research/povyshenie-privilegij-v-windows.html> (Дата обращения 22.03.2022)
- 8 *Блог крупной Российской компании Positive Technologies, Повышение привилегий* URL: <https://www.securitylab.ru/news/tags/повышение+привилегий/> (Дата обращения 22.03.2022)
- 9 *Крупнейший ресурс для IT профессионалов, Отчет по пентесту: руководство и шаблон*. URL: <https://habr.com/ru/company/proechelon/blog/337824/> (Дата обращения 22.03.2022)
- 10 Фленов М. Е. *Web-сервер глазами хакера, 3-е издание, переработано и дополнено – СПб.: БХВ-Петербург, 2021.*

11 Блог организации IT GUILD, Как SecOps превращается в инструмент поддержки любых бизнес-операций. <https://it-guild.com/info/blog/kak-secops-prevrashhaetsya-v-instrument-podderzhki-lyubyh-biznes-operaczij/> (Дата обращения 22.03.2022)

12 Aitkhozhayeva Y.Zh., Ziro A. A., Zhaibergenova Zh. A., Baltabay A.G. Penetration testing. Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, №6 (376).- Алматы: Наука, 2018. - с. 39-44. ISSN: 1991-349421. DOI: 10.32014/2018.2518-1467.25. (Scopus, Web of Science, IF 0.094 по KazBI).

13 Gnatyuk S. Critical Aviation Information Systems Cybersecurity? NATO Science for Peace and Security IOS Press Ebooks, 2016. Vol.47. – №3. – P. 308-316.

14 National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-115 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-115, 80 pages (Sep. 2008)

15 Goel S., Chen V. «Information security risk assessment – a matrix-based approach». University at Albany, SUNY. 2005.

16 Imran, M. S., & Mondal, S. A. (2013). The effect of marketing audit to enhance company performance and marketing accountability. Retrieved from <http://www.wbiconpro.com/523-Imran.pdf>. 73 Kamil VANA, L. C. (2014). The Marketing Audit as a Method of the Evaluation of the Marketing Plan. 132.

17 Kotler, P. (2002). Marketing Management, Chapter3: Winning Markets Through Strategic Planning, Implementation, and Control (Eleventh ed.). New Jersey, USA: Pearson Custom Publishing.

References:

1 Gnatyuk S. Critical Aviation Information Systems Cybersecurity? NATO Science for Peace and Security IOS Press Ebooks, 2016. Vol.47. – №3. – P. 308-316.

2 National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-115 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-115, 80 pages (Sep. 2008)

3 Goel S., Chen V. «Information security risk assessment – a matrix-based approach». University at Albany, SUNY. 2005.

4 Imran, M. S., & Mondal, S. A. (2013). The effect of marketing audit to enhance company performance and marketing accountability. Retrieved from <http://www.wbiconpro.com/523-Imran.pdf>. 73 Kamil VANA, L. C. (2014). The Marketing Audit as a Method of the Evaluation of the Marketing Plan. 132.

5 Kotler, P. (2002). Marketing Management, Chapter3: Winning Markets Through Strategic Planning, Implementation, and Control (Eleventh ed.). New Jersey, USA: Pearson Custom Publishing.

6 Kotler, P.; Keller, K.L. (2009) Marketing. Management, 13th edition, Pearson International Edition

7 Povysheniye privilegiy i ekspluatatsiya POST v Windows. Blog krupnoy organizatsii, zanimayushcheyssya informatsionnoy bezopasnost'yu. URL: <https://securixy.kz/own-research/povyshenie-privilegij-v-windows.html/> (Data obrashcheniya 22.03.2022)

8 Blog krupnoy Rossiyskoy kompanii Positive Technologies, Povysheniye privilegiy URL: <https://www.securitylab.ru/news/tags/povysheniye+privilegij/> (Data obrashcheniya 22.03.2022)

9 Krupneyshiy resurs dlya IT-professionalov, Otchet po pentestu: rukovodstvo i shablon. URL: <https://habr.com/ru/company/npoechelon/blog/337824/> (Data obrashcheniya 22.03.2022)

10 Flenov M. Ye. (2021) [Web-server glazami khakera – 3-ye izdaniye, pererabotano i dopolneno – SPb.: BKHV-Peterburg], Web server through the eyes of a hacker, 3rd edition, revised and updated.

11 Блог организации IT GUILD, Как SecOps превращается в инструмент поддержки любых бизнес-операций. <https://it-guild.com/info/blog/kak-secops-prevrashhaetsya-v-instrument-podderzhki-lyubyh-biznes-operaczij/> (Дата обращения 22.03.2022)

12 Aitkhozhayeva YU.ZH., Ziro A.A., Zhaibergenova Zh. A., Baltabay A.G. Testirovaniye na proniknoveniye. Vestnik Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan, №6 (376).- Алматы: Наука, 2018. - С.39-44. ISSN: 1991-349421. DOI: 10.32014/2018.2518-1467.25. (Scopus, Web of Science, IF 0,094 по KazBTS).

13 Gnatyuk S. Critical Aviation Information Systems Cybersecurity? NATO Science for Peace and Security IOS Press Ebooks, 2016. Vol.47. – №3. – P. 308-316.

14 National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-115 Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 800-115, 80 pages (Sep. 2008)

15 Goel S., Chen V. «Information security risk assessment – a matrix-based approach». University at Albany, SUNY. 2005.

16 Imran, M. S., & Mondal, S. A. (2013). The effect of marketing audit to enhance company performance and marketing accountability. Retrieved from <http://www.wbiconpro.com/523-Imran.pdf>. 73 Kamil VANA, L. C. (2014). The Marketing Audit as a Method of the Evaluation of the Marketing Plan. 132.

17 Kotler, P. (2002). Marketing Management, Chapter3: Winning Markets Through Strategic Planning, Implementation, and Control (Eleventh ed.). New Jersey, USA: Pearson Custom Publishing.

М.Н. Калимолдаев¹, А.А. Абдилдаева¹, Ж.У. Шермантаева^{1*}, В. Войцик²

¹Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Люблин политехникалық университеті, Люблин қ., Польша

*e-mail: jazsher2022@gmail.com

ИОТ ТЕХНОЛОГИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ САЛАСЫН ДАМУ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Аңдатпа

Цифрлық және интеллектуалды (IoT) технологияларының дамуы мен таралуы, олардың экономика мен қоғамның барлық салаларына түбегейлі енуі дәстүрлі бизнес үлгілерін, дәстүрлі салалық құрылымдардың және әлемдік нарықтардың үлгілерін өзгерте отырып қарқын алуда. Өзгерістердің ауқымы соншалық, бұл цифрландыру бәсекеге қабілеттіліктің дерлік синонимі болып табылатын тағы бір технологиялық революция деп айтуға болады. Бұл мақалада процестердің бірегей мазмұнын анықтайтын «энергетика секторындағы IoT технологиялары» мәселесі қарастырылады. IoT технологиялары принциптеріне негізделген электр энергетикасы саласын дамытудың тұжырымдамалық көрінісі және даму жоспары ұсынылған. "Заттар интернеті" идеясы шамамен 20 жыл бұрын пайда болғанына қарамастан, технологияның белсенді дамуы тек соңғы жылдары басталды. Бұл бағыттың өзектілігі үнемі өсіп келеді. Ақылды орта оның объектілерінің өзара әрекеттінсіз мүмкін емес және бұл өзара әрекеттесуді жаңа деңгейге жеткізетін заттар Интернеті (Internet of Things, IoT). Бұл мақалада IoT негізіндегі энергетикалық жүйелердің қазіргі жағдайы энергетикалық жүйелердегі әрбір IoT компоненті бойынша соңғы іс-шараларға шолу жасалады. Осы саласындағы мәселелер талқыланады, содан кейін кейбір шешімдер ұсынылады.

Түйін сөздер: IoT технологиялар, электр энергетика, даму, Bayesian Belief Network аппараты, OWL, RDF, XML, цифрландыру.

Аннотация

М.Н. Калимолдаев¹, А.А. Абдилдаева¹, Ж.У. Шермантаева¹, В. Войцик²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Люблинский политехнический университет, г. Люблин, Польша

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИОТ

Развитие и распространение цифровых и интеллектуальных (IoT) технологий, их кардинальное проникновение во все сферы экономики и общества набирает обороты, меняя традиционные бизнес-модели, модели традиционных отраслевых структур и мировых рынков. Масштабы изменений настолько велики, что можно сказать, что цифровизация-это еще одна технологическая революция, которая является почти синонимом конкурентоспособности. В данной статье рассматривается проблема «технологии IoT в энергетическом секторе», которая определяет уникальное содержание процессов. Представлена концептуальная картина развития электроэнергетической отрасли и план развития, основанный на принципах технологий IoT. Несмотря на то, что идея "интернета вещей" возникла около 20 лет назад, активное развитие технологий началось только в последние годы. Актуальность данного направления постоянно растет. Интеллектуальная среда невозможна без взаимодействия ее объектов, и именно интернет вещей (Internet of Things, IoT) выводит это взаимодействие на новый уровень. В этой статье рассматривается текущее состояние энергетических систем на основе IoT в обзоре последних мероприятий по каждому компоненту IoT в энергетических системах. Обсуждаются вопросы в этой области, после чего предлагаются некоторые решения.

Ключевые слова: IoT-технологии, электроэнергия, развития, Bayesian Belief Network, OWL, RDF, XML, цифровизация.

Abstract

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY BASED ON IOT TECHNOLOGY

Kalimoldayev M.N.¹, Abdildaeva A.A.¹, Shermantaeva Zh.U.¹, Wojcik W.²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Lublin Polytechnic University, Lublin, Poland

The development and dissemination of digital and intelligent (IoT) technologies, their radical penetration into all spheres of the economy and society is gaining momentum, changing traditional business models, models of traditional

industry structures and world markets. The scale of change is so great that we can say that digitalization is another technological revolution that is almost synonymous with competitiveness. This article discusses the problem of "IoT technology in the energy sector", which determines the unique content of processes. A conceptual picture of the development of the electric power industry and a development plan based on the principles of IoT technologies are presented. Despite the fact that the idea of the "Internet of things" originated about 20 years ago, the active development of technology has only begun in recent years. The relevance of this direction is constantly growing. An intelligent environment is impossible without the interaction of its objects, and it is the Internet of Things (IoT) that takes this interaction to a new level. This article examines the current state of IoT-based energy systems in an overview of the latest activities for each IoT component in energy systems. Issues in this area are discussed, after which

Keywords: IoT technologies, electricity, development, Bayesian Belief Network , OWL, RDF, XML, digitalization.

Кіріспе

2017 жылы Қазақстанда цифрлық экономикаға көшу саясаты белсенді түрде қалыптасып, жүзеге асырыла бастады. Қазақстан Республикасының Цифрлық экономика бағдарламасы әзірленді және бекітілді, цифрлық экономикаға көшу бағдарламалары әзірленді, оның ішінде энергетика саласында да қалыптастыру басталды. 2017 жылғы 12 желтоқсанда Қазақстан Республикасының Үкіметі «Қазақстан Республикасын дамытудың ұлттық мақсаттары мен стратегиялық міндеттері туралы» қаулыға қол қойды. Жарлықта ел экономикасын, оның ішінде энергетика саласын цифрлық түрлендірудің басымдықтары ерекше айқындалып айтылды. IoT технологияларын қолдану экономикалық құрамдас бөлікті ескере отырып, сонымен қатар тұтынушылық тәжірибе тұрғысынан көптеген салалар мен өмір сүру салаларының келбетін өзгертеді. Бірқатар облыстарда адам еңбек шығындары мен қателіктер азайтылады [1].

Осылайша, электр энергетикасындағы IoT технологияларды түбегейлі өзгертеді, қаражатты үнемдеуді қамтамасыз етеді және энергия жүйесінің барлық буындарында жаңа өнімдер жасайды. Ауыл шаруашылығында IoT нақты егіншілікті енгізуге және ауыл шаруашылығы көлігін басқаруды едәуір жетілдіруге мүмкіндік береді.

Электр энергетикасында заттар интернетін қолдану принциптері.

Қазіргі уақытта бұқаралық ақпарат құралдары заттардың интернеті туралы және оның өмірдің әртүрлі салаларына енуі туралы тақырыптарға толы. Жалпы ереже бойынша, Заттар интернеті әдетте Internet протоколдарымен жұмыс істеуге арналмаған құрылғыларды желіге қосу үшін манипуляциялар мен операциялардың жиынтығы деп түсініледі. Интернет заттарын кеңінен енгізу немесе IoT Электр энергетикасы саласына да әсер етті. Осы технологияны өндіріске қолдану басталғаннан кейін иерархиялық барлық рәсімдерді нақты реттеумен және мемлекеттік реттеудің кең дәрежесімен сипатталатын "өндіріс-беру-өткізу" жүйесіне нақты уақыт режимінде тиімді өзара іс-қимылдың бейімделген жүйесі келді. Бұл электр энергетикасы саласындағы кейбір кәсіпорындарға жұмыс істеудің сапалы жаңа деңгейіне өтуге мүмкіндік берді.

Өндіріс және тарату салаларын цифрландыру міндетті түрде "тұтынушыны цифрландырумен" сүйемелденуі тиіс екенін атап өту маңызды. "Ақылды тұтынушы" жоқ "ақылды өндіріс" тиімді жұмыс істей алмайды.

Энергетика саласын цифрлық трансформациялау бойынша стратегиялық шешімдердің ғылыми негізделуінің өзектілігі туындайтын бірқатар мәселелерді шешу қажеттілігімен түсіндіріледі. Әлемнің көптеген дамыған елдерінде энергетикалық жүйелердің тұтынушыға бағытталған электр энергетикасы саласын түрлендіретін IoT технологиялары іске асырылуда (бұл бағыт әдетте «Цифрлық энергетикаға көшу» деп аталады). Бұл ауысу энергетикалық секторда бөлінген IoT технологияларын ауқымды пайдалануға, жеке инвестицияларды тартуға және орталықтандырылмаған нарықтарды қалыптастыруға бағытталған. Ол сондай-ақ инфрақұрылымды интеллектуалдандыруды және тұтынушылардың белсенді, тұтынушы мінез-құлқы үлгілеріне көшуін білдіреді. Қазақстандық электр энергетикасы үшін қиындықтар дәстүрлі отын-энергетикалық ресурстардың артық болуымен, елді мекендер желісінің төмен тығыздығы және кеңейтілген аумақпен, нақты әлеуметтік-экономикалық факторлармен байланысты өзіндік сипаттамаларға ие. Сонымен бірге, олар жаһандық сын-қатерлер мен жағдайлары ұқсас елдер үшін сын-қатерлерді қайталайды. Біздің қарастырып отырған мәселе электр энергетикасындағы жаңа технологиялық парадигмаға көшу туралы болып отыр, ол жалпы инфрақұрылымға үздіксіз интеграцияланатын және энергиямен алмасуды жүзеге асыратын энергия өндірушілер мен тұтынушылардың экожүйесі ретінде көрсетеді. Бұл тәсіл үздіксіз әрекеттесулерге ұқсастығы бойынша «Энергия интернеті» деп те аталады [2]. Бұл ретте цифрлық энергияға көшу барысында туындайтын бірқатар мәселелер бар.

Энергетика саласын цифрлық түрлендіруге байланысты барлық проблемаларды, яғни тұтастай алғанда интеграцияланған интеллектуалды энергетикалық жүйелерді және атап айтқанда ақпараттық-телекоммуникациялық технологияларды Қазақстанда енгізу және қолданумен байланысты. IoT технологиясын электр энергетикада қолданудың мәселелерін келесі сатыларға бөлуге болады: когнитивтік және басқарушылық мәселелер, ғылыми және технологиялық шектеулер [3].

Когнитивті және басқарушылық мәселелерге мыналар жатады:

- барлық субъектілер арасындағы мүдделерді үйлестіру механизмінің болмауы.

Ғылыми-техникалық шектеулерге мына мәселелер жатады:

- цифрлық энергия саласында ғылыми зерттеулердің және қолжетімді қолданбалы технологиялық шешімдердің болмауы;

- цифрлық энергияның бірыңғай терминологиясының, егжей-тегжейлі тұжырымдамасы мен архитектурасының болмауы;

- энергетикалық объектілерде жеткілікті мөлшерде цифрлық құрылғылардың болмауы, бұл бақылау мүмкіндігін нашарлатады.

Заман талабына сай жаңа технологиялық әдістердің энергетика саласында да маңызды орын алғандығын ескеріп, энергетика саласында IoT технологиясын қандай мазмұнда дайындаймыз деген мәселе туындайды. Аталған мәсedenің шешімін айқындау біздің зерттеуіміздің жетекші идеясы болып табылады. IoT технологиясын пайдалана отырып, электр энергетикасы саласының ақпараттық жүйесін әзірлеу зерттеуіміздің негізгі идеясына алып баратын бастау болып табылады [4].

Зерттеудің әдіснамасы

Зерттеу барысында қолданылған зерттеудің теориялық әдістері: зерттеу тақырыбына сәйкес ғылыми зерттеулердің қазіргі жағдайын педагогикалық, философиялық, ғылыми тұрғыдан талдау; жоғары рейтингті журналдарда жарық көрген ғылыми мақалаларда, оқу құралдарында, монографияларда берілген мәліметтерді салыстыру; даму жоспарларын нақтылау және модельдеу және т.б. Зерттеудің әдіснамалық негіздері мыналар: А.Черняктың «сымсыз желілердің таралуы, IPv6-ға белсенді көшу және сонымен қатар бұлттардың танымалдылығының артуы және машинааралық өзара әрекеттесу технологиялары тобының пайда болуы (Machine to Machine, M2M)» туралы ғылыми еңбегі, сонымен қатар, А.Кирееваның «Интернет құралдарын қолдану» саласындағы зерттеулері.

Зерттеудің нәтижелері және талқылау

Бағдарламалық қамтамасыз етуді, ақпараттық қамтамасыз етуді және интеллектуалды ақпараттық технологияларды біріктіру мәселесін шешуге ұсынылатын тәсіл. Жоғарыда аталған интеграциялық мүмкіндіктерді іске асыру үшін, келесі ақпараттық технологиялар негізінде қамтамасыз етілуі мүмкін:

а) бағдарламалық қамтамасыз ету компоненттері үшін бірыңғай ақпараттық-коммуникациялық орта;

б) мәліметтердің, ақпараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету компоненттерінің семантикалық интеграциясы;

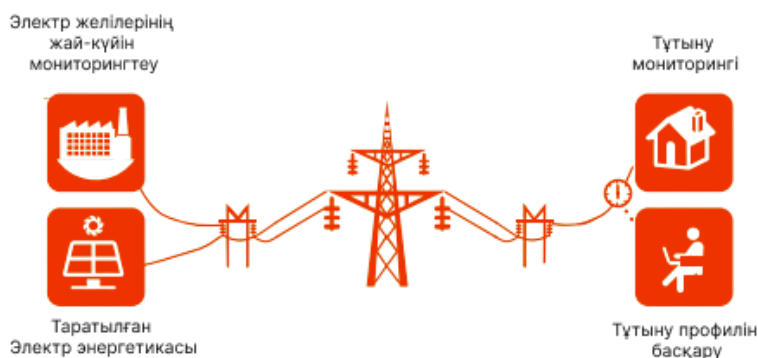
в) ситуациялық басқару және семантикалық модельдеу құралдары.

Зерттеу барысында, PwC мамандар және энергетикалық компаниялардың оннан астам басшыларынан сауалнама жүргізді және олардың көпшілігі болашақта барлық үш буын бар деген пікірге келді

Электр энергетикасы-генераторлар, желілер мен тұтынушылар – "ақылды"болуға тиіс. IoT технологиялары жүргізілетін нарықтың барлық қатысушыларының терең интеграциясы қандай да бір мағынада электр энергетикасын түрлендіруге мүмкіндік береді.

"Өндіріс – беру – өткізу" иерархиялық жүйесін ауыстыру, онда барлық рәсімдер регламенттермен қатаң айқындалған, дәйектілікке мыналар есебінен қол жеткізіледі ал қатысушылар бір-бірінің іс-әрекеттері туралы жаңалықтардан біледі, нақты режимде өнімді өзара іс-қимылдың икемді жүйесі Келеді уақыт. 1-суретте жүйенің әр элементі басқа элементтерді "көреді", олардың мүмкіндіктері мен қажеттіліктерін түсінеді және өз әлеуетін тиімді пайдаланады. Бұл өзгеріс Энергетикалық жүйе жұмысындағы сенімділік пен тиімділіктің қағидатты жаңа деңгейіне шығуға мүмкіндік береді [5].

Электр желілерінің жай-күйін мониторингтеу



Сурет 1. Электр энергетикасында Іт қолдану салалары

Бұл ретте желілерді цифрландыру, генерациялау және Тұтыну секторы процестері қатар жүруі тиіс екенін түсіну маңызды.

"Ақылды тұтынушы" жоқ "ақылды желі" жұмыс істемейді.

IoT енгізу әсер ететін электр энергетикасының барлық элементтеріндегі негізгі салалар (сурет 2):

- технологиялар, оның ішінде олардың сенімділігі артады;
- үнемділік, оның ішінде шығындар қысқарады;
- жаңа нарықтардың пайда болуы, жаңа қасиеттер мен бизнес құру.

| Тұтынушы | Генератор | Желі | Технологиялар |
|--|--|--|--|
| | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Сұранысты басқару • Тұтынушылардың электр энергиясын өндіруі • Виртуалды электр станцияларының пайда болуы | <ul style="list-style-type: none"> • Тиімділікті арттыру • Бөлінген генерацияның және "жасыл" энергетиканың өсуі | <ul style="list-style-type: none"> • Қатысушылар арасындағы байланысты қамтамасыз ету • Өндірушіні таңдау мүмкіндігі | <ul style="list-style-type: none"> • Нақты уақыт режимінде активтерді басқару • Сенімділіктің түбегейлі өсуі |

Сурет 2. Электр энергетикасында Іт қолдану пайдасының негізгі салалары

Энергетикалық жүйе дәстүрлі түрде сенімділіктің технологиялық принципін айналасында құрылды: тұтынушы әрдайым электр энергиясымен қамтамасыз етілуі керек. Сондықтан электр энергетикасы жүйесінде резервтеу принципі сақталады: оған желінің де, генератордың да қуаты үшін айтарлықтай резерв енгізілген.

Мұның себебі энергетиканың негізгі рөліне байланысты экономиканың тіршілігін қамтамасыз етуде және халықтың күнделікті өмірінде ойнайды.

Электр желілерінде біз IoT элементтеріне жатқызатын Smart Grid технологиялары сенімділікті айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Желілік кешендегі 1 негізгі ҚНҚ – ның бірі-тұтынушыларды электр энергиясымен қамтамасыз ету көрсеткіштері (CAIDI 2 және SAIFI 3).

IoT технологиялары жабдықтың қалыпты жұмыс режимі туралы уақтылы ақпарат алу және уақтылы алдын-ала жөндеу жүргізу арқылы желідегі апаттар санын азайта алады. Мысалы, трансформатордағы май датчигінің қашықтықтан мониторингі ағып кетуді дер кезінде байқауға, трансформатордың қызып кетуінің және ықтимал істен шығуының алдын алуға, тіпті қосалқы станциядағы (бұдан әрі – ҚС) өрттің шығуына мүмкіндік береді [6]. Генерациясы әңгіме бірінші кезекте қамтылуы туралы аса маңызды тораптар станциялары жүйелерін диагностикалау. Айта кету керек, станциялардың заманауи жабдықтарының көпшілігі кіріктірілген телеметрия жүйелерімен және, әрине, автоматикамен жабдықталған. ТП 4 АБЖ генерациялайтын объектілердің тіршілікті қамтамасыз ету жүйесінің ажырамас бөлігі болып табылады.

Энергетика секторын цифрлық түрлендіру бойынша стратегиялық шешімдерді негіздеу үшін математикалық және семантикалық модельдеу құралдарын біріктіру ұсынылады. Төменде семантикалық модельдеу ұғымдары мен мазмұнын қарастырамыз. Жалпылама түрдегі семантикалық модель деп ақпараттық ұғымдарын және олардың арасындағы қатынасты көрсететін ақпараттық модель түсініледі. Семантикалық модельдеу онтологиялық, когнитивтік, оқиғалық және ықтималдық (Байездік сенім желілеріне негізделген) модельдер мысалында қарастырылады. 3-суретте семантикалық модельдеу технологияларын салыстыруды көрсетеді.

Онтологиялық модельдеу онтологияларды графикалық және формальдандырылған түрде құруды білдіреді. Онтологиялар ерекше түрдегі ақпарат қоры «концептуализация спецификациясы» ретінде анықталады. Соңғысы негізгі ұғымдарды (ұғымдарды) анықтай отырып, ақпараттық негізгі терминдерін жіктеу және олардың арасындағы байланыстарды орнату процесін білдіреді. Модельмен көрсетілген оқиғаларды іске асыру реттілігі – оқиғалар тізбегі – тізбектің басында бастаушы оқиғаның пайда болуына жүйе реакциясының сценарийлерін сипаттайды. Нәтижесінде оқиға моделі жүйеде берілген жағдайды дамытудың көптеген альтернативті сценарийлерін алуға мүмкіндік береді, бұл оқиғаны модельдеудің негізгі мақсаты болып табылады [7].

| <i>IoT Технологиясы</i> | <i>IoT Технология мақсаты</i> | <i>Рәсімдеуге арналған ақпарат</i> | <i>Энергетикалық қауіпсіздікті зерттеуде қолдану</i> |
|-------------------------------|---|---|---|
| <i>Онтологиялық модельдеу</i> | <i>Декларативті ақпарат бөліктерін сипаттау</i> | <i>Онтологиялар (арнайы тілдер (OWL, RDF, XML және т.б.))</i> | <i>Концепцияларды анықтау, жіктеу және нақтылау (энергетикалық зерттеулердегі негізгі түсініктер)</i> |
| <i>Когнитивті модельдеу</i> | <i>Ұғымдардың себеп-салдарлық байланыстарын анықтау</i> | <i>Когнитивтік карталар (график теориясы)</i> | <i>АЖ қауіптерін талдау</i> |
| <i>Оқиғаларды модельдеу</i> | <i>Мінез-құлық үлгілерін құрастыру. Төтенше жағдайлардың даму динамикасын анықтау</i> | <i>Оқиға карталары (Желілерді біріктіру теориясы)</i> | <i>Төтенше жағдайлардың шыңы мен салдарын талдау</i> |
| <i>Ықтималды модельдеу</i> | <i>Ықтималдық модельдерді құру. Қауіпті тәуекелді бағалау</i> | <i>Bayesian Belief Network аппараты</i> | <i>Төтенше жағдайлардың тәуекелдерін бағалау</i> |

Сурет 3. Онтологиялық, когнитивтік, оқиғалық және ықтималдық модельдеу технологияларын салыстыру

Ықтималды модельдеу – айнымалылар жиынының ықтималдық тәуелділіктерін бейнелейтін және осы айнымалылар арқылы ықтималдық қорытынды жасауға мүмкіндік беретін графикалық модельдерді құру. Осы саладағы соңғы жарияланымдар негізінен ХХ ғасырдың 1980 жылдарында жүргізілген зерттеулердің нәтижелерін біріктірді. Бұл тәсілді энергетикалық секторда қолдану нәтижелері. Семантикалық модельдер сараптамалық ақпарат негізінде әзірленеді және сарапшылардың тәжірибесіне, эрудициясына және интуициясына негізделген айқын және жасырын ақпаратты пайдалануға мүмкіндік береді. Мысалы, себеп-салдарлық байланыстарды көрсетуге мүмкіндік беретін когнитивтік модельдер отын-энергетикалық кешеннің сыртқы байланыстарының, экономика мен отын-энергетика кешенінің дамуының сценарийлерін сипаттау және талдау үшін пайдаланылуы мүмкін. Оқиғалық және ықтималдық модельдер таңдалған сценарийлер бойынша анықталған әртүрлі жағдайларды дамыту нұсқаларын қарастыруға мүмкіндік береді. Семантикалық үлгілерді пайдалана отырып әзірлеудің әртүрлі нұсқаларына сараптамалық бағалау жүргізілгеннен кейін энергетикалық және отын-энергетикалық кешендегі салалық жүйелердің математикалық үлгілерін іске асыратын дәстүрлі бағдарламалық жүйелер тартылады және ұсынылған шешімдерді негіздеу үшін оңтайландыру мәселелері шешіледі. Жақында бұл тұжырымдаманы жедел басқару үшін пайдалану ұсынылды, бірақ автор оны стратегиялық шешімдерді негіздеу саласында қолдану орынды деп есептейді. Тұжырымдалған ситуациялық бақылаудың заманауи түсіндірмесі

қолданылады. Энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету бойынша шешім қабылдауды негіздеу және қолдау үшін жағдайлық басқару тұжырымдамасын қолдану қарастырылады.

Энергетика саласындағы IoT технологиясын пайдаланудың стратегиялық шешімдерін негіздеу үшін математикалық және семантикалық модельдеу құралдарын біріктіру ұсынылады [8]. Бұл ретте екі базалық технология да қолданылады – агентке бағытталған және бұлтты есептеулер, сонымен қатар проблемалық – семантикалық және математикалық модельдеу, сонымен қатар осы модельдеуді біріктіретін оның интеллектуалды АТ ортасын қолдайтын екі деңгейлі зерттеу технологиясы. Семантикалық модельдеуге арналған құралдарды қамтиды және дәстүрлі бағдарламалық жүйелермен біріктіру мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Ұсынылған технологияның жоғарғы, сапалы деңгейін қамтамасыз ету мақсатында келесі құралдарды пайдалану ұсынылады: OntoMap, CogMap, EventMap және Bayesian Nets сәйкесінше онтологиялық, когнитивтік, оқиғалық және ықтималдық модельдеуге арналған қолдау құралдары болып табылады, геокомпонент 3D геовизуализация құралы пайдалану біздің технологиямыздың тиімдігін арттырады. Жоғарғы оң жақта көрсетілген «Деректерді түрлендіру және басқарудың интеллектуалды құралы» семантикалық және математикалық модельдерді біріктіруді қамтамасыз етеді, күйді бағалау үшін ұсынылған технологияның екінші, сандық деңгейінде қолданылады.

Төтенше сараптама жүйесі энергетикалық сектордағы экстремалды жағдайлардың прецеденттерін қамтиды, оларды семантикалық үлгілерді құруда қолдануға болады. Схема үшін зерттеудің келесі деңгейлері (кезеңдері) және оларды қолдайтын құралдар ажыратылады (4-сурет).



Сурет 4. IoT технологиясын зерттеу және көмекші құралдарды пайдалану деңгейлері (кезеңдері)

Құралдарды біріктіру ақпаратты басқару тілі арқылы жүзеге асырылады:

- интеллектуалды АТ ортасы қолдайтын талдау деңгейі (семантикалық модельдеу қолданылады);
- шешімдердің ұжымдық даму деңгейі (соның ішінде семантикалық модельдеу, шешімдерді үйлестіру әдістері) ұжымдық сараптама қызметін қолдаудың интеллектуалды жүйесімен қамтамасыз етіледі;
- шешімдердің негізделу деңгейі (алдыңғы кезеңде ұсынылған нұсқалардың есептеулері энергетикалық кешен мен зерттеудің дәстүрлі бағдарламалық жүйелерін пайдалана отырып орындалады);
- ұсынылған шешімдерді ұсыну деңгейі (визуалды аналитика және когнитивтік графика құралдары қолданылады) [9].

Интернет заттары электр энергиясының жаңа нарығын қалыптастыру факторы ретінде

"Smart Grid" технологиясын қолданудың тағы бір артықшылығы әртүрлі энергия көздерін стандартты емес өндіріспен интеграциялау мәселелерін шешу болып табылады. "SmartGrid" технологиясы тұтынудың технологиялық тізбегінің буыны болып табылатын аспаптар мен жабдықтарды электр энергиясының дербес көздеріне айналдыруға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта бұл технологиялық шешімнің аналогтары жоқ.

Бірінші кезекте жаңартылатын энергия көздері – су, күн және жел базасында энергия өндіру процесі туралы сөз болып отыр. 2025 жылға дейінгі жоспарларда ДДҰ жаңартылатын энергия көздерінің 5 ГВт-тан сәл артық қуаттарын (елдің энергия қуатының шамамен 2%-ы) пайдалануға беру

көзделгеніне қарамастан, бұл көлемдер негізінен үй шаруашылықтарының шағын интеграциясы есебінен өсуі мүмкін. Көлемі 5-6 аралығында болатын өнеркәсіптік таратылған генерация бар екенін ұмытпауымыз керек % энергетиканың ел. Жаңа және жабдықталған энергия көздерін біріктіру үшін көптеген факторлардың әсерінен ондаған жылдар бойы дамып келе жатқан гетикалық электроэнергетика жүйесін жаппай қайта жарақтандыру қажет болады. Шын мәнінде, бастапқы кезеңде электр желісі "бір жақты қозғалыс" жолы ретінде құрылды, яғни генерациялаушыдан тұтынушыларға көзі.

Интернет заттары арқылы таратылған генерацияның өсуі электр энергия алмасуының ішінде орналасқан әрбір пайдаланушы үшін виртуалды интерфейсін бейімдеуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жүйенің кез-келген қатысушысына барлық 100% таратылған қуатқа ие болуға және көтерме ойыншы деңгейінде алмасуға қатысуға мүмкіндік береді.

Электр бизнесіндегі жаңа экожүйе алмасу тізбегінің үшінші буыны — тұтынушы арқылы өмір сүре алады. PWC сарапшыларының пікірінше, заттар интернетінің дамуы көбінесе үй шаруашылығының қажеттіліктерімен, сондай-ақ шағын және орта бизнестің мүдделерімен анықталады.

Нарықты дамытудың тағы бір маңызды драйвері электр энергетикасы осы ресурстың бөлшек саудасын іске қосу үшін жоспарланған болуы мүмкін, оның ішінде тұтынушы, жоғарыда айтылғандай, электр энергиясын жеткізушіні өз бетінше таңдай алады. Электр энергиясымен қамтамасыз етуге бөлшек сауда тәсілін қолданудан түсетін пайда:

1. Электр энергиясын жеткізушілер арасындағы ауысу соңғы пайдаланушылар үшін барынша жылдам және ыңғайлы болады.

2. Электр энергетикасы нарығындағы бәсекелестік жеткізушілер нарықта сұранысқа сай тарифтерді орналастыруға мәжбүр болатын жағдайлар.

3. Тұтынушылар көтерме клиенттер ретінде нарыққа шығу үшін өздерінің "тұтыну кооперативтерін" құра алады [10].

Алайда, бұрын көрсетілген пайдаға қол жеткізу өндірушілер мен тұтынушылар арасындағы электр алмасу процестеріне ақылды есептегіштерді енгізу арқылы ғана мүмкін болатындығын тағы бір рет атап өтеміз. Яғни, қазіргі уақытта Қазақстанда 7 млн-ға жуық жеке меншік үй, 12 мың ЖМҚС және 2,5 млн-нан астам шағын және орта бизнес кәсіпорындары бар, электр тұтыну үдерістерінде интернет заттары аспаптарымен жабдықталған тұтынушылар елдегі зияткерлік энергия жүйесін қалыптастыруға айтарлықтай әсер ете алады.

Қорытынды

Мақалада цифрлық энергияға көшу мәселелері қарастырылады, бір жағынан, осы саладағы ғылыми зерттеулердің және қолжетімді қолданбалы технологиялардың жоқтығы, екінші жағынан, осы энергетикалық зерттеулер саласына жеткіліксіз назар аудару болып табылады. Цифрлық энергия тұжырымдамасында энергетика саласының технологиялық инфрақұрылымын дамыту және маңызды энергетикалық нысандардың IoT технологияларды энергетика саласына енгізуді қамтамасыз ету бойынша стратегиялық шешімдер қабылдауға зияткерлік қолдау көрсету, сияқты салаларға назар аударылмағаны атап өтілді.

Айта кету керек, Қазақстанда Интернеттің дамуы бүкіл әлемге қарағанда әлдеқайда баяу қарқынмен жүреді. Бұл ойдан шығарылған салаларда Интернеттің дамуына әсер етеді. Әйтсе IoT - та өндіріске енгізу бойынша мемлекеттік қолдау тетіктері әзірше сатысында тұр шығу тегі, олардың үлкен маңыздылығын атап өткен жөн, өйткені олар өндірістегі жаңа технологиялық сапаға көшу үшін қаржылық көпір болып табылады. Жеке салалардың әрқайсысы үшін IoT-тің өнеркәсіпте қолдануға көшу стратегиясын әзірлеу ұсынылады. IoT - ті өндіріске енгізу және интернет-қаражаттан алынатын деректерді жинау/талдау жөніндегі жобаларды іске асыруға байланысты мамандандырылған органдар құру артық болмайды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 "Цифрлық Қазақстан" мемлекеттік бағдарламасын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы 12 желтоқсандағы № 827 қаулысы. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P1700000827>

2 Цикл популярных технологий 2011 года. [Электронный ресурс] 2011. URL: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-added-to-the-2011-hype-cycle/>

3 Прогноз роста IoT аналитической группы Juniper Research [Электронный ресурс] 2016. URL: <https://www.juniperresearch.com/researchstore/key-vertical-markets/internet-of-things/consumer-industrial-public-services/>

4 Нехватка инженеров похоронит все ведущие производства России [Электронный ресурс] 2016. URL: <http://www.gudok.ru/economy>

5 Как работают в Гугл [Электронный ресурс] 2014 Юлия Рузманова. The Village. URL: <http://www.thevillage.ru/village/business/office/167995-kak-rabotayut-v-ofise-google>

6 Richard E. Gary, Jr. Woodbridge A. Effects of Available Sugar on the Reproductive Fitness and Vectorial Capacity of the Malaria Vector *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) 2001 Foster [Электронный ресурс]. URL: <https://academic.oup.com/jme/article/38/1/22/1004998/Effects-of-Available-Sugar-on-the-Reproductive>

7 Consumers Want Healthy Foods--And Will Pay More For Them. Forbes. Nancy Gagliardi 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/nancygagliardi/2015/02/18/consumers-want-healthy-foods-and-will-pay-more-for-them/#68eaf0e875c5>

8 What Everyone Must Know About Industry 4.0. Bernard Marr. Forbes 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#b4c9ac7795f7/>

9 Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: Энергия, 2010. – 208 с.

10 Воронай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Изв. РАН. Энергетика. – № 1. – 2014. – С. 64-78.

References:

1 "Cifirlyk Kazakstan" memlekettik bagdarlamasyн bekitu turaly. Kazakstan Respublikasy Ykimetiniң 2017 zhylgy 12 zheltoksandagy № 827 kaulysy ["Tsifirlyk Kazakhstan" memlekettik bagdarplamasyn bekitu turaly. Kazakhstan Republics Ukimetinin 2017 zhylgy 12 zheltoksandagy No. 827 kaulysy]. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P1700000827>

2 Cикl populjarnyh tehnologij 2011 goda (2011). [Cycle of popular technologies in 2011], [Electronic resource]. URL: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-added-to-the-2011-hype-cycle/>.

3 Prognoz rosta IoT analiticheskoy gruppy Juniper Research [IoT Growth Forecast by Juniper Research Analytical Group], [Jelektronnyj resurs] 2016. URL: <https://www.juniperresearch.com/researchstore/key-vertical-markets/internet-of-things/consumer-industrial-public-services/>

4 Nehvatka inzhenerov pohoronit vse vedushhie proizvodstva Rossii [The lack of engineers will bury all the leading industries in Russia][Jelektronnyj resurs] 2016. URL: <http://www.gudok.ru/economy>

5 Julija Ruzmanova. (2014) Kak rabotajut v Gugl [How Google works] The Village. URL: <http://www.thevillage.ru/village/business/office/167995-kak-rabotajut-v-ofise-google>

6 Richard E. Gary, Jr. Woodbridge A. (2001), Effects of Available Sugar on the Reproductive Fitness and Vectorial Capacity of the Malaria Vector *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) Foster [Электронный ресурс]. URL: <https://academic.oup.com/jme/article/38/1/22/1004998/Effects-of-Available-Sugar-on-the-Reproductive>

7 Forbes. Nancy Gagliardi 2015. Consumers want healthy foods and will pay more for them. [Electronic resource]. URL: <https://www.forbes.com/sites/nancygagliardi/2015/02/18/consumers-want-healthy-foods-and-will-pay-more-for-them/#68eaf0e875c5>

8 What Everyone Must Know About Industry 4.0. Bernard Marr. Forbes 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#b4c9ac7795f7/>

9 Kobec B.B., Volkova I.O., (2010) Innovacionnoe razvitie jelektrojenergetiki na baze koncepcii Smart Grid. [Innovative development of electric power industry based on the Smart Grid concept] М.: Jenergija, 208 s.

10 Voropaj N.I., Stennikov V.A., (2014) Integrirovannye intellektual'nye jenergeticheskie sistemy [Integrated smart energy systems] Izv. RAN. Jenergetika. № 1. 64-78.

Н.К. Мукажанов^{1*}, А.М. Толегенов²

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Нархоз университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: mukazhan@mail.ru

ЛОГИСТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІҢ КӨП ӨЛШЕМДІ МОДЕЛІН ҚҰРУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ

Аңдатпа

Мақалада логистикалық-ақпараттық жүйе деректерінің көп өлшемді моделін құру және визуализациялау берілген. Логистикалық жүйеде туындайтын сұрақтарға жауап беру үшін қажетті мәліметтерді тиісті формаларда ұйымдастыру және көрсету қажет. Стратегиялық және жедел сұрақтарға жауап беру мақсатында мақалада деректерді түрлі өлшемдерде визуализациялау жолы сипатталады. Мақаланың бірінші бөлімде мәліметтерді визуализациялау тәсілдері айтылып, логистикалық мәліметтерді көп өлшемді гипер текше құрылымына келтіру арқылы түрлі өлшемдерде визуализациялау ұсынылады. Көп өлшемді құрылым мәліметтерді аналитикалық талдауға және түрлі өлшемдерде кима түрінде жылдам алуға мүмкіндік береді. Ал, екінші жартысында гипертекше құрылымының программалық әзірлемесі беріледі. Программалық әзірлеме қажетті мәліметтерді сақтауға арналған деректер қоймасынан, Kyubit Business Intelligence және Microsoft Analysis Services деректерді талдау қызметтерінде әзірленген аналитикалық құрылымнан және мәліметтерді визуализациялау формаларынан тұрады.

Түйін сөздер: Деректердің көп өлшемді моделі, визуализациялау, деректер қоймасы, логистика, OLAP-технологиясы, аналитикалық өңдеу.

Аннотация

Н.К. Мукажанов¹, А.М. Толегенов²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан

²Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан

СОЗДАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ МОДЕЛИ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В данной работе представлены процессы создания многомерной модели и визуализация данных логистической информационной системы. Для того чтобы ответить на вопросы возникающие в процессах логистики(или в логистических операциях/процессах), необходимо систематизировать и представить необходимую информацию в соответствующих формах. Для того, чтобы ответить на оперативные и стратегические вопросы, в статье исследуются способы многомерной визуализации данных. В первой части статьи описаны методы визуализации данных и предлагается визуализировать логистические данные в различных измерениях с использованием многомерной гиперкубической структуры. Многомерная структура позволяет оперативно получить ответы на аналитические запросы и представить результаты в виде различных срезов гиперкуба. Во второй части статьи представлено программное решение. Программная разработка состоит из модули хранилища данных, аналитической структуры, разработанной в сервисах анализа данных Kyubit Business Intelligence и Microsoft Analysis Services, и форм визуализации данных.

Ключевые слова: многомерная модель данных, визуализация, хранилище данных, логистика, OLAP-технология, аналитическая обработка.

Abstract

CREATION OF THE MULTI-DIMENSIONAL MODEL AND VISUALIZATION OF LOGISTIC DATA

Mukazhanov N.K.¹, Tolegenov A.M.²

¹Kazakh national research technical university named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan

²Narхоз University, Almaty, Kazakhstan

The article presents the creation and visualization of a multidimensional data model of the logistics information system. To answer the questions that arise in the logistics system, it is necessary to organize and present the necessary information in the appropriate forms. To provide reasonable answers to the strategic and urgent questions, the article describes how to visualize data in different dimensions. The first part of the article describes methods of data visualization and proposes to visualize logistic data in various dimensions using a multidimensional hypercubic structure. The multidimensional structure allows quickly receive answers to analytical requests and present the results in

the form of various slices of the hypercube. The second part of the paper presents a software solution. Software creation consists of the following part: data warehouse, an analytical hypercube developed in Kyubit Business Intelligence and Microsoft Analysis Services, and data visualization forms.

Keywords: Multidimensional data model, visualization, data warehouse, logistics, OLAP-technology, analytical processing.

Кіріспе

Үлкен ақпараттық жүйелерде деректерді өңдеудің маңызды тапсырмаларының бірі шешімдер қабылдауға қажетті мәліметтерді қалыптастыру және визуализациялау болып табылады. Бұл тапсырма ақпараттық-логистикалық жүйелерде де әр түрлі құрылымды деректерден күнделікті қажетті есептерді қалыптастырудан бастап, басқару шешімдерін қабылдау үшін қажетті аналитикалық деректерді ұсынуға дейін барлық процесстер үшін маңызды. Шешімдер қабылдауға қажетті ақпараттың өңдеу әдістері, технологиялары әр түрлі және олардың деректерді өңдеу, шешім қабылдауға қажетті деректерді түрлі формаларда беру мүмкіндіктері бір бірінен ерекшеленеді. Бұдан басқа, пәндік салаға байланысты деректердің құрылымы, форматтары, аналитикалық өңдеу мен визуализациялау тапсырмаларыда бір бірінен өзгеше. Сондықтан әр саланың сұранымдары мен қойылатын талаптарына сәйкес программалық шешімдер әзірлеу қажет. Логистика саласында өнімдердің жеткізілуі, жеткізу жолдары, жеткізуші компаниялар, олардың жасаған жұмыс көлемі және т.б. деректер негізінде маңызды шешімдердің қабылдау үшін аналитикалық өңдеу мен қолайлы формаларда визуализациялау қажетті. Аталған салада шешімдер қабылдауды қолдау жүйелері, бизнес-процесстері, деректерді өңдеу мен ұсыну жолдары мен технологиялары көптеген ғылыми еңбектер мен практикалық жұмыстарда қарастырылған [1, 2, 3].

Мәліметтерді аналитикалық өңдеу және шешімдер қабылдау үшін туындайтын сұрақтарға жедел жауап беруде қолайлы болып табылатын OLAP технологиясын қолдану идеясы [4, 5, 6, 7] ғылыми мақалаларда ұсынылған.

Сілтемеде көрсетілген жұмыстарда деректерді басқару мен өңдеу процесстері, деректер қоймасы үлгілері, деректерді визуализациялау әдістері берілген. Бірақ логистика саласына арналған деректерді аналитикалық өңдеу бойынша OLAP гиперкубының ішкі құрылымы, көп өлшемді визуализациялау берілмеген. Осыған байланысты, осы зерттеуде біз тауарларды жеткізу мысалын пайдалана отырып, сандық логистикалық платформа үшін деректердің көп өлшемді құрылымын мен визуализациясын құру жолдарын қарастырамыз.

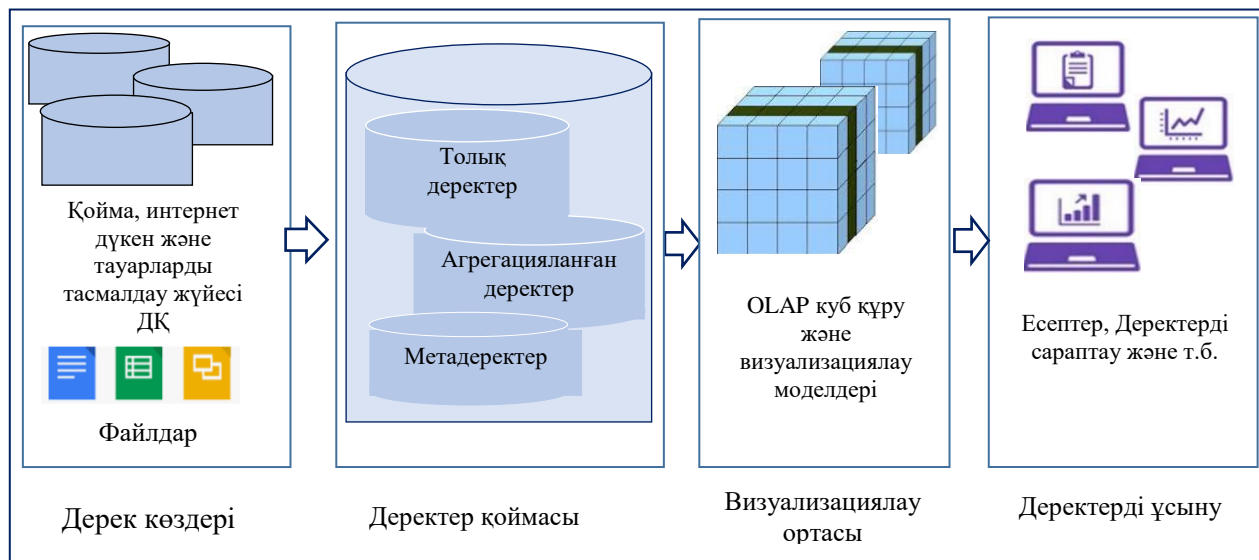
Деректерді визуализациялау – бұл деректерді адамның қабылдауы үшін түсінікті формада және зерттеуге ыңғайлы форматта ұсыну. Деректерді визуализациялаудың мәні - адамға олардың мағынасын түсінуге, қорытынды жасауға және деректермен тікелей әрекеттесуге мүмкіндік беретін деректерді қажетті көрнекі формада ұсыну. Мәліметтерді кестелер, есептер (reports), тізімдер, графиктер, диаграммалар, блок-схемалар, карталар және т.б. түрінде беруге болады. Деректерді визуализациялау деректерді талдаудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады және деректерді визуалды талдау әдісі болып табылады.

Зерттеудің маңыздылығы, ақпараттық-логистикалық жүйе деректерін нақты уақытта жедел сапатамалық талдауға мүмкіндік беретін және деректер арасындағы өзара байланыстарды сақтай отырып визуализациялау үшін гиперкуб моделін құру. Пәндік сала бойынша ақпарат түрі мен ағынын анықтағаннан кейін, негізгі объектілерді жиындар теориясы белгілеулері арқылы сипатталады. Осының негізінде гиперкуб моделі құрылады. Осы жұмыста берілетін гиперкуб моделін түрлендіріп, басқада пәндік салаларға да пайдалануға болады. Гиперкуб деректерін физикалық сақтау үшін деректер қоймасы құрылады. Деректер қоймасындағы объектілердің арасындағы байланысты жүзеге асыруда реляциялық деректер моделінің кілт-байланысы қолданылады.

Мақалада ұсынылатын логистикалық деректердің көп өлшемді моделі және оның программа түрінде практикалық жүзеге асырылуы логистикалық деректерді сараптамалық талдау, бизнес шешімдерді қабылдауға арналған нақты жүйелерді құруда қолдануға болады. Бизнес деректерді талдауда, көбіне екі немесе үш параметрлер арасындағы байланыстарды қарастырады және визуализациялауда x , y және x, y, z өстері бойынша тәуелділіктерді көрсетеді. Егер өлшемдер 3-тен де көп, n -өлшемді болғанда параметрлердің (көрсеткіштердің) арасындағы корреляцияларды нақты уақытта көруді жүзеге асырудың бір жолы гиперкуб моделін OLAP-технологиясында жүзеге асыру. Зерттеудің нәтижесін жоғарыда айтылғандай сараптамалық жүйелерді әзірлеуде қолданудан басқа, осы бағыт бойынша зерттеулер жүргізушілер, ары қарай OLAP Mining арқылы болжау жүйесін

құруда, машиналық оқытудың болжамдарында сандық моделдердің нәтижелерін салыстырмалы тексеруге арналған қосымша орта құруда қолдануға болады.

Келесі, мақаланың негізгі бөлімінде, деректерді визуализациялау әдістеріне талдау жасап, ақпараттық-логистикалық жүйенің деректер ағымының бастапқы дереккөздерден соңғы пайдаланушыға дейінгі аралықтағы процесстерін бейнелей отырып (1-сурет), деректерді жедел аналитикалық талдаудың көп өлшемді моделі мен түрлі визуализациялау формаларын ұсынамыз.



1-сурет. Ақпараттық-логистикалық жүйе деректерін визуализациялау процестері

Деректерді визуализациялау әдістері

Ақпаратты визуализациялау әдістері деректер түрлеріне, қолданылатын өлшемдер санына байланысты әдетте екі топқа жіктеледі [8, 9]:

- мәліметтерді бір, екі және үш өлшемде көрсету;
- мәліметтерді төрт немесе одан да көп өлшемдерде көрсету.

Мәліметтерді бір, екі және үш өлшемде көрсету. Бұл әдістер тобына адамның қиялымен қабылдауға болатын ақпаратты көрсетудің белгілі тәсілдері кіреді. Көрініс өлшемдерінің санына сәйкес ұсыну келесі жолдар болуы мүмкін [10]:

- бір өлшемді (univariate) өлшемдер, немесе 1-D;
- екі өлшемді (bivariate) өлшемдер, немесе 2-D;
- үш немесе проекциялық (projection) өлшемдер, немесе 3-D.

Айта кету керек, адам көзі үшін қабылдаудың ең табиғи әдісі ақпаратты екі және үш өлшемді бейнелеу болып табылады. Ақпараттың екі және үш өлшемді көрінісін пайдалану кезінде пайдаланушы деректер жиынының үлгілерін көру мүмкіндігіне ие:

- оның құрылымы және объектілерді кластарға бөлу (мысалы, координата жүйесінде шашырау диаграммасы бойынша);

- топологиялық ерекшеліктер;
- тенденциялардың болуы;
- мәліметтердің салыстырмалы орналасу орны туралы мәліметтер;
- зерттелетін деректер жиынына тән басқа өзара байланыстардың болуы.

Деректер үш өлшемнен көп болса, келесі нұсқалардың бірі пайдаланылуы мүмкін:

- ақпаратты ұсынудың көп өлшемді әдістерін қолдану;
- мәліметтерді ұсыну өлшемін азайту (1, 2, 3 өлшемдерге дейін).

Біз өз жұмысымызда көп өлшемді модельдерді және деректерді ұсыну формаларын қолданамыз.

Деректерді 4 немесе одан да көп өлшемдерде ұсыну. Ақпараттың төрт өлшемді және одан да көп өлшемдерде бейнеленуі адамның қабылдауына қолжетімсіз. Дегенмен, адамға мұндай ақпаратты көрсетуге және қабылдауға мүмкіндік беретін арнайы әдістер әзірленген. Төменде ақпаратты көп өлшемді көрсетудің ең танымал әдістері келтірілген [9]:

- параллель координаттар;
- жапырақша диаграммалары;
- көп өлшемді гиперкубтар.

Деректерді визуализациялау әртүрлі бизнес тапсырмаларын шешуге мүмкіндік береді, мысалы, тапсырыстар көлемін, жүктерді тасымалдауға тапсырыстарды, өңірлер бойынша жүктерді тасымалдау көлемін және т.б. Аналитикалық деректерді визуализациялау негізінен шешім қабылдау үшін қолданылады. Осыған байланысты функционалдық мүмкіндіктерімен сипатталатын жаңа жоғары деңгейлі визуализация тәсілдерін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Деректерді талдау және визуализация деректер белгісіз және зерттеу мақсаты әлі анық болмаған кезде пайдалы. Пайдаланушы әртүрлі пішімдерде ұсынылған деректермен тікелей жұмыс істейтіндіктен, ол оларға әртүрлі қырларынан және кез келген көзқарастан қарай алады, ол шешімді дәлірек тұжырымдауға көмектесетін қосымша және толық ақпарат ала алады. Осылайша, визуалды деректерді талдауды гипотезаларды құру процесі ретінде қарастыруға болады. Бұл ретте құрылған гипотезаларды автоматты түрде (OLAP технологиялары немесе Data Mining әдістері) немесе визуалды талдау арқылы тексеруге болады.

Ақпараттық-логистикалық жүйе деректерін визуализациялау процесі 1-суретте көрсетілген. Суретте көрсетілгендей, деректер қоймасындағы мәліметтер дерекқор және файлдар сияқты әртүрлі дерек көздерден алынады. Содан кейін бастапқы деректер визуализация ортасына өңдеуге жіберіледі. Өңдеудің негізгі мақсаты – көп өлшемді деректерді пайдаланушылар қабылдай алатын және түсінікті формаларда көрсетуге болатын пішінге келтіру.

Әрі қарай, логистикалық деректерді визуализациялау үшін біз OLAP технологиясын қолданамыз. OLAP (Online Analytical Processing) – көп өлшемді деректер моделін пайдалана отырып, мәліметтерді көп өлшемді жедел аналитикалық өңдеу. OLAP-технологиясын деректер қоймада жинақталған деректерді көп өлшемді талдауға арналған құралдар жиынтығы ретінде анықтауға болады. Теориялық тұрғыдан OLAP құралдарын жедел деректерге немесе олардың нақты көшірмелеріне тікелей қолдануға болады.

OLAP қолданбаларындағы көп өлшемділікті үш деңгейге бөлуге болады:

Көп өлшемді деректерді ұсыну – көп өлшемді визуализация мен деректермен манипуляцияны қамтамасыз ететін ақырғы пайдаланушы құралдары; көп өлшемді көрсету деңгейі деректердің физикалық құрылымын абстракциялайды және деректерді көп өлшемді құрылым ретінде қарастырады.

Көп өлшемді өңдеу – көп өлшемді сұраныстарды құрастыруға арналған құрал және көп өлшемді сұранысты өңдеуге және орындауға қабілетті процессор.

Көп өлшемді сақтау – көп өлшемді сұраныстарды тиімді орындауды қамтамасыз ететін мәліметтерді физикалық ұйымдастыру құралдары. Біз өз жұмысымызда OLAP қосымшаларының барлық үш деңгейін қолданамыз. Бұл бізге деректерді визуализациялау кезінде деректерге жылдам қол жеткізуге, деректерді алдын ала жинақтауға, иерархиялық деректер құрылымына қол жеткізуге, уақытпен жұмыс істеуге және көп өлшемді деректерге жылдым қол жеткізуге мүмкіндік береді. Веб-интерфейстегі тауарларды жеткізу туралы ақпаратты көп өлшемді визуализациялау үшін келесі жұмыстар орындалды:

1. Тауарларды жеткізу бойынша көп өлшемді деректер моделін құру.
2. Мәліметтер қоймасының құрылымын анықтау (ДҚ).

3. Kyubit Business Intelligence және Microsoft Analysis Services жүйелерінде гиперкуб құру және кесінділер түрінде, сондай-ақ графикалық және әртүрлі есеп беру формаларында деректерді визуализациялау.

Деректерді талдау және визуализация үшін OLAP технологиясын пайдалану ерекшеліктері:

- Мәліметтердің көп өлшемді көрінісі және 1-ден n-ға дейін өлшемдерде мәліметтерді ұсыну.
- Талдау және визуализация нәтижелерін Excel/PDF және т.б. форматтарда экспорттау мүмкіндігі.
- Қажетті жерлерді бөліп көрсету және берілген ішкі жиын бойынша қосымша талдау жасау мүмкіндігі.
- Ұяшықтар бойынша егжей-тегжейлі көрсету және нақты деректерді қарау.
- Талдау нәтижелерін диаграмма түрінде көрсету, және т.б.

Тауарларды жеткізу бойынша көп өлшемді деректер моделін құру

Көп өлшемді деректер моделінің негізгі түсініктері: Деректер гиперкубы, өлшемдер (dimensions), өлшемдердің белгілері (memders), ұяшықтар (cells), сандық өлшем (measure).

Куб бірнеше өлшемдерден құралады, ал әр бір өлшем кубтың бір қырын құрайтын өлшем көрсеткіштерінен тұрады (2-сурет а, b). Ұяшықтар сандық көрсеткіштерден тұрады немесе бос болуы мүмкін. Кубта сақталған деректерді қарау таңдап алынған өлшемдер мен сандық көрсеткіштерден құралған қима түрінде жүргізіледі.

Өлшем – гиперкуб құрылымының бір қырын құрайтын белгілеулер жиыны. Уақыт өлшеміне мысал күндер, айлар, тоқсандар, жылдар тізімі кіреді. Географиялық өлшемнің мысалы ретінде аумақтық объектілердің тізімі болуы мүмкін: елді мекендер, аудандар, облыстар, елдер және т.б.

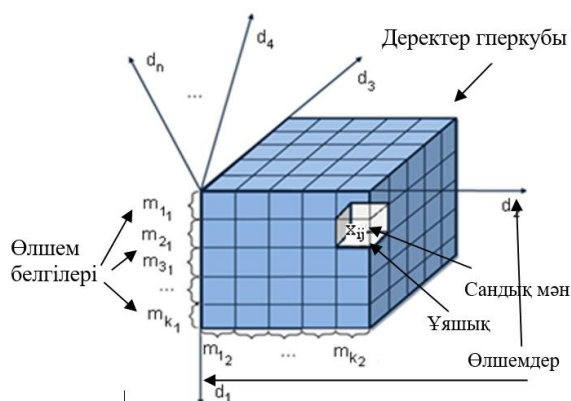
Деректерге қол жеткізу үшін пайдаланушы қажетті өлшемдерді таңдау арқылы қима құрып, ондағы ұяшықтарға сәйкес сандық өлшем мәндеріне қарай алады. Өлшемдерді таңдау процесі өлшемдер бойынша белгілі бір қималарды алу деп аталады, ал таңдалған өлшем мәндерінің жиынтығы тұрақты өлшемдер жиынтығы деп аталады.

$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$ – гиперкубтың өлшемдер жиыны, $M_{d_i} = \{m_{1i}, m_{2i}, \dots, m_{ki}\}$, $i = 1 \dots n$ – өлшемдердің белгілеулер жиыны деп алайық. Онда, $M = M_{d_1} \cup M_{d_2} \cup \dots \cup M_{d_n}$ – гиперкуб өлшем белгілерінің жиыны, $D' \subseteq D$ – бекітілген өлшемдер жиыны, $M' \subseteq M$ – бекітілген өлшем белгілеулерінің жиыны. Деректер гиперкубы – D, M жиындарына сәйкес келетін $H(D, M)$ ұяшықтар жиыны болып табылады. D', M' қимаға бекітілген гиперкубтың ішкі жиыны деп алсақ, онда $H'(D', M')$ – ұяшықтардағы сандық мәндер жиыны. Деректер гиперкубының әрбір ұяшығы $h \in H$ өлшем белгілерінің $M_h \subseteq M$ мүмкін болатын жиынына сәйкес келеді. Ұяшық бос болуы мүмкін (деректерді қамтымайды) немесе көрсеткіштің сандық мәнін қамтуы мүмкін [11, 12].

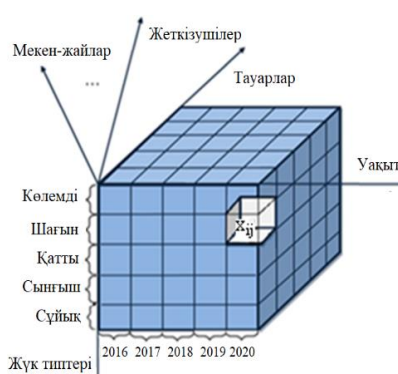
Жоғарыда сипатталған гиперкуб моделі негізінде тауарларды жеткізудің көп өлшемді моделі жасалды. Тауарларды жеткізудің көп өлшемді моделі 2(b) -суретте көрсетілген.

Тауарды жеткізу (тасмалдау) гиперкубы келесі өлшемдерден тұрады: $D = \{ \text{уақыт, тауар, тауар түрі, жеткізу мекенжайы, жеткізіп берушілер, жеткізушілердің түрлері және т.б.} \}$. Жоғарыда айтылғандай, әрбір гиперкуб өлшемі өлшем элементтерінен - өлшем белгілерінен тұрады.

Тауарларды жеткізуге арналған гиперкуб өлшем белгілері: $M_{\text{уақыт}} = \{2017 \{1 \text{ тоқсан } \{ \text{қаңтар, ақпан, наурыз} \}, 2 \text{ тоқсан } \{ \text{сәуір, мамыр, маусым} \}, 3 \text{ тоқсан } \{ \text{шілде, тамыз, қыркүйек} \}, 4 \text{ тоқсан } \{ \text{қазан, қараша, желтоқсан} \} \}, 2018 \{ 1 \text{ тоқсан } \{ \dots \}, 2 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 3 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 4 \text{-тоқсан } \{ \dots \} \}, 2019 \text{ ж. } \{ 1 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 2 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 3 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 4 \text{-тоқсан } \{ \dots \} \}, 2020 \{ 1 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 2 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 3 \text{-тоқсан } \{ \dots \}, 4 \text{-тоқсан } \{ \dots \} \} \}$, $M_{\text{тауарлар}} = \{ \text{Ноутбук HP Pavilion, Ноутбук HP Gaming Pavilion, Lenovo V130, \dots, Ультрабук ASUS Zenbook} \}$, $M_{\text{жүктердің типтері}} = \{ \text{Көлемді жүктер, Шағын жүктер, Сұйық заттар, Сынғыш заттар және т.б.} \}$, $M_{\text{жеткізушілердің түрлері}} = \{ \text{Жеке тұлға, заңды тұлға} \}$, $M_{\text{жеткізу мекен-жайы}} = \{ \text{Алматы қ., Нұр-Сұлтан қ. (Астана), Оңтүстік Қазақстан облысы, \dots, Солтүстік Қазақстан облысы} \}$, т.б. Сонымен қатар, тауарларды жеткізу гиперкубының иерархиялық өлшемдері бар. Уақыт өлшемі бойынша: $D_{\text{уақыт}} = \{ \text{жыл-тоқсан-ай} \}$, мекен-жай өлшемі бойынша: $D_{\text{жеткізу мекен-жайы}} = \{ \text{облыс-қала-аудан-елді-мекен} \}$.



Сурет 2а. Тауарларды жеткізу бойынша деректердің көп өлшемді моделі (гиперкуб)



Сурет 2б. Тауарларды жеткізу бойынша гиперкуб

Көп өлшемді визуализацияға арналған барлық деректер деректер қоймасында (ДҚ) сақталады. Мәліметтер қоймасы келесі өлшем кестелерінен тұрады: тасымалдаушылар, тасымалдаушылардың түрлері, тауарлар, категориялар, мекенжайлар, облыстар, қалалар және т.б.

Фактілер кестелері: жөнелту тапсырыстары, тауарларға тапсырыстар. ДҚ сұлбасы 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Деректер қоймасының сұлбасы

Кубит Business Intelligence және Microsoft Analysis Services жүйелерінде құрылған гиперкуб

Бұл жұмыста Кубит Business Intelligence бағдарламалық құралы мен Microsoft Analysis Services көп өлшемді деректер үлгісін жасау және деректерді әртүрлі пішіндерде визуализациялау үшін пайдаланылды. Кубит Business Intelligence – BI құрылымның мазмұнын жасау және ұйымдастыру үшін пайдаланылатын веб-ке негізделген платформа. Кубит BI құралдары гиперкуб деректеріне қол жеткізу, талдау және көп өлшемді және кестелік үлгілер үшін OLAP есептерін жасау үшін пайдаланылатын OLAP құрылымдық бағдарламалық құралының шешімін, ұйымның KPI көрсеткіштерін құру функцияларын және басқа да көптеген ыңғайлы мүмкіндіктер мен қасиеттерді қамтиды [13, 14].

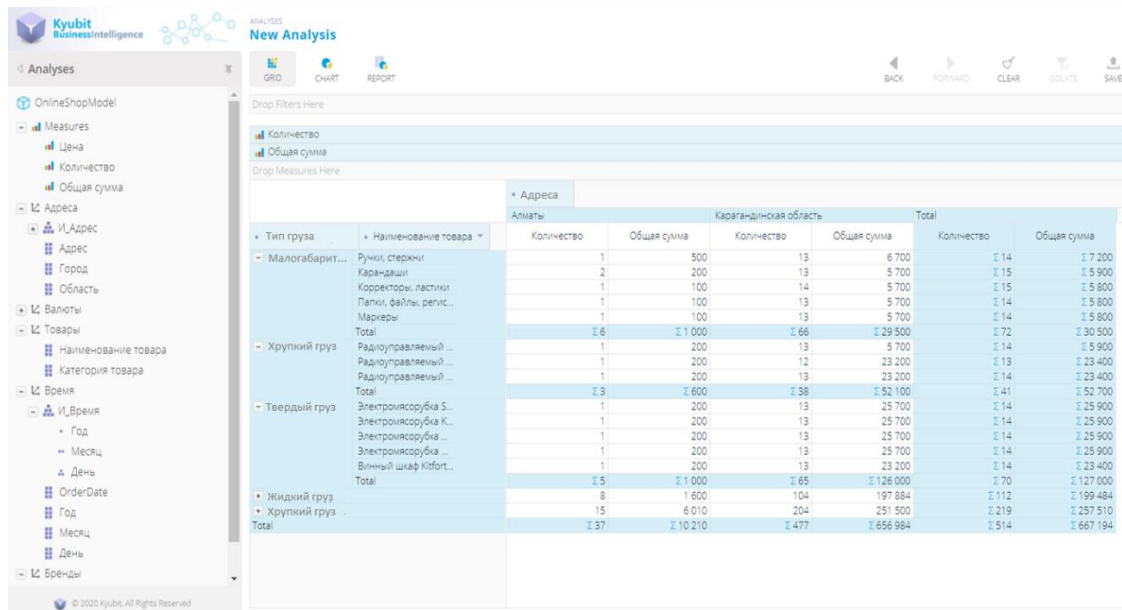
Өлшемді деректер үлгілері пайдаланушы қабылдауын және өзара әрекетін жеңілдету және деректерді талдау сұрақтарына жауап беру үшін көрсеткіштер мен өлшемдер түріндегі көп өлшемді құрылымдарды пайдалана отырып, интуитивті деректер талдауын қамтамасыз етеді.

Бастапқы бақылау тақтасының деректерін визуализациялаудан кейін OLAP аналитикалық бақылау тақтасы көрсетілетін деректерге қатысты қосымша мәселелерді шешу, өзгерістерді анықтау, үлгілерді анықтау, сәтті өлшеу және ағымдағы өнімділік себептерін табу үшін пайдаланылады.

Гиперкуб деректері бақылау тақтасына орналастырылғаннан кейін, пайдаланушылар деректер көздерінен нақты уақыттағы деректерді ала отырып, бақылау тақтасының барлық пайдаланушыларына қолжетімді аналитикалық мүмкіндіктерін пайдаланып, OLAP деректерін одан әрі зерттеу және талдау үшін әртүрлі аналитикалық тәсілдерді таңдай алады.

Кубит BI ортасында көп өлшемді деректер үлгісін қолдану арқылы тауарларды жеткізуге арналған аналитикалық гиперкуб үлгісі құрылды (көп өлшемді модель 2 (a, b) суретте көрсетілген).

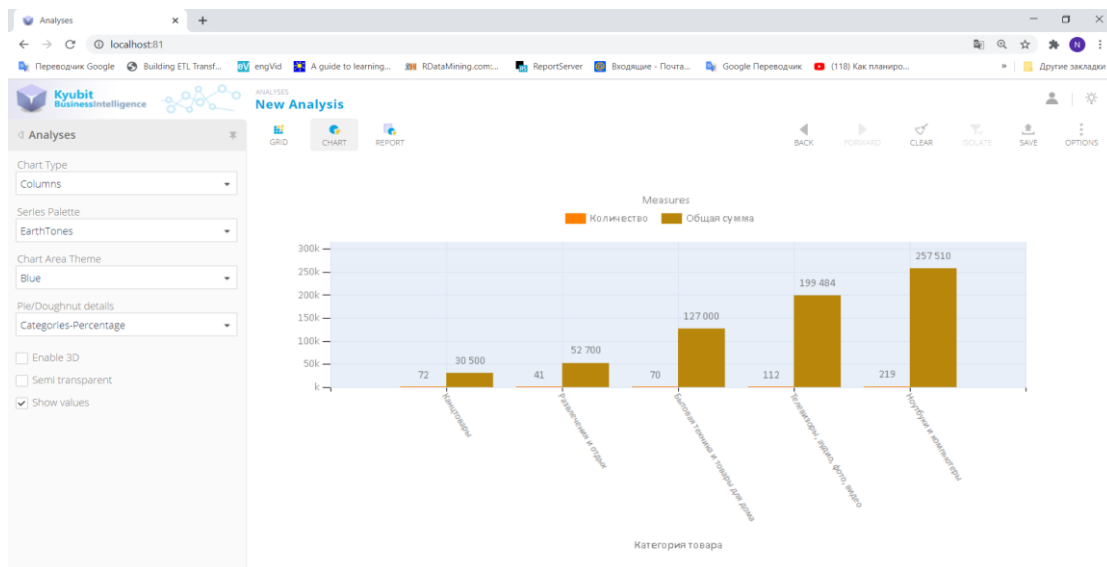
Бұл модель веб-браузерде гиперкуб қимасы түрінде әртүрлі есеп беру формаларын жасауға мүмкіндік береді. Үш өлшемдегі гиперкуб қимасы түріндегі визуализация интерфейсі 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Гиперкубтың үш өлшемдегі кесіндісі: жылдар, брендтер, тауарлар

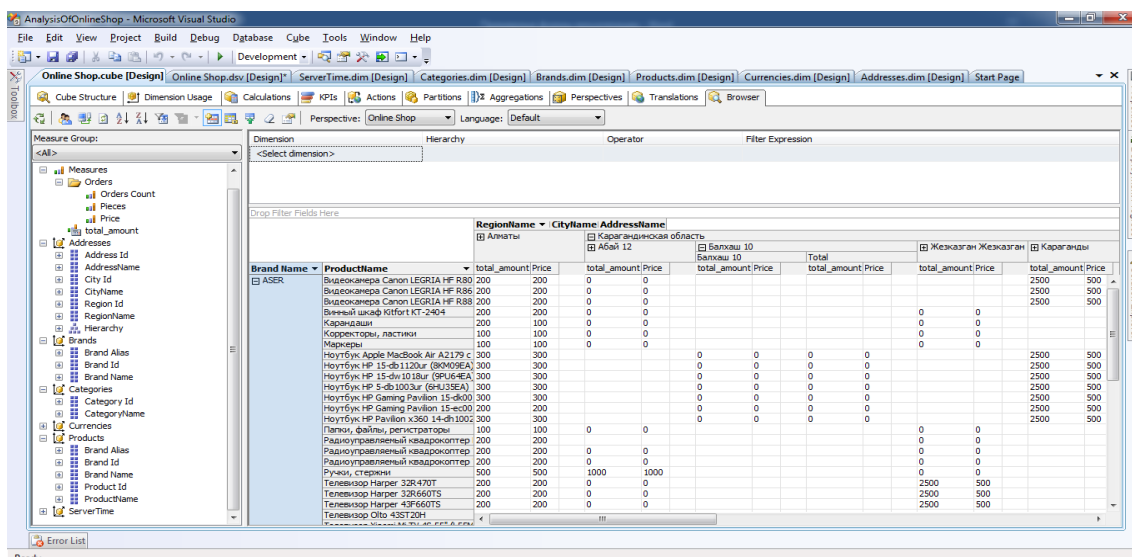
5-суретте статистикалық диаграмма түріндегі текшенің (куб) графикалық визуализациясы мен кесіндісі көрсетілген. Деректер бөлігі тауарлардың санаты бойынша ғана көрсетіледі және өлшем ретінде өнімдердің саны көрсетіледі.

Microsoft Analysis Services қызметінде гиперкуб құру. Analysis Services – шешімдер қабылдауды қолдау және іскерлік аналитикалар үшін пайдаланылатын деректерді сараптап өңдеу мүмкіндігінмен қамтамасыз ететін арнайы программалық қызмет [15]. Деректер гиперкубы іскери интеллект (BI) қолданбалары, деректерді талдау және Power BI, Excel, Reporting Services және басқада деректерді визуализациялау құралдарында есеп беру үшін кәсіпорын деңгейіндегі семантикалық деректер үлгісі мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді.



Сурет 5. Қима деректеріннің графикалық визуализациясы

MS Analysis Services ортасында гиперкубты құру және деректерді визуализациялау келесі қадамдардан тұрады: деректер қоймасынан деректерді алу, деректер көрінісін жасау, гиперкуб өлшемін анықтау, деректер гиперкубын құру және деректерді визуализациялау. Analysis Services интерфейсі және деректерді гиперкуб кимасы түрінде визуализациялау 6-суретте көрсетілген.



Сурет 6. MS Analysis Services ортасында деректерді гиперкуб қимасы түрінде визуализациялау

Сондай-ақ, Analysis Services қызметінде әзрленген көпөлшемді гиперкуб деректерін түрлі формаларда ұсыну үшін Power BI, Excel MS Excel және басқа да деректерді визуализациялау құралдарын пайдалануға болады.

Қорытынды

Бұл мақалада ақпараттық-логистикалық жүйе деректерін аналитикалық өңдеу және визуализациялау әдістерін, әртүрлі формаларда мен өлшемдерде беру жолдарын қарастырдық. Мәселені шешу үшін OLAP технологиясы қолданылды. Жұмыстың бірінші бөлімінде деректерді визуализациялау әдістері берілген. Екінші бөлімде тауарларды жеткізуге арналған көп өлшемді деректер үлгілері жасалды. Әзірленген үлгілерді практикалық енгізу үшін деректер қоймалары құрылды және ақпараттық-логистикалық платформаның деректері деректер қоймасына жүктелді. Сонымен қатар, Kyubit Business Intelligence және Microsoft Analysis Services қызметтерінде аналитикалық гиперкубтар құрылды. Әзірленген гиперкубтар тауарлардың логистикасы бойынша шешім қабылдау үшін қажетті әртүрлі аналитикалық сұраулар мен есептерге жылдам жауап береді. Гиперкуб деректері кестелер, графикалық диаграммалар түріндегі есептер, және т.б. пішімдерде веб-браузерге шығарылды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Omar Boutkhoum, Mohamed Hanine, *An integrated decision-making prototype based on OLAP systems and multicriteria analysis for complex decision-making problems* // *Applied Informatics* 4:11. 2017. 2-24. (in English) DOI: <https://doi.org/10.1186/s40535-017-0041-6>
2. Dr. Tawfik M. Younis M. Tawfik El Masry, *Decision support system in supply chain management* // *European Journal of Logistics, Purchasing and Supply Chain Management*. 2017. Vol.5 No.5, pp.40-51
- 3 Tongzhu LIU, Aizong SHEN, 2 Xiaojian HU, 1 Guixian TONG, 2 and Wei GU. *The Application of Collaborative Business Intelligence Technology in the Hospital SPD Logistics Management Model* // *Iran Journal of Public Health*. 2017 Jun; 46(6): 744–754
- 4 Zhang Jing, Li Na, and Yang Jie, *lv Na4, The Application of OLAP in Logistics System Of Steel-Production*, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 577 (2014) pp 1296-1299
- 5 Chaoqun Zhan, Maomeng Su, Chuangxian Wei, Xiaoqiang Peng, Liang Lin, Sheng Wang, Zhe Chen, Feifei Li, Yue Pan, Fang Zheng, Chengliang Chai *Alibaba Group, AnalyticDB: Real-time OLAP Database System at Alibaba Cloud* // *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2019. Vol. 12, No. 12. ISSN 2150-8097. DOI: <https://doi.org/10.14778/3352063.3352124>
- 6 Adhish Nanda, Swati Gupta, Meenu Vijrania, *A Comprehensive Survey of OLAP: Recent Trends* // *3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*. 2019. Publisher: IEEE. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECA.2019.8822203>
- 7 Ramesh Venkatakrishnan. *Design, Implementation, and Assessment of Innovative Data Warehousing; Extract, Transformation, and Load(ETL); and Online Analytical Processing(OLAP) on BI* // *International Journal of Database Management Systems (IJDMS)* Vol.12, No.3, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijdms.2020.12301>
- 8 Bernard Marr, *Data Strategy How to Profit from a World of Big Data, Analytics and Artificial Intelligence* / Bernard Marr, ISBN-13: 978-1398602588, 2nd Edition, 2021

9 Ian Witten, Eibe Frank, Mark Hall, Christopher Pal, *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques* / Ian Witten, Eibe Frank, Mark Hall, Christopher Pal - Elsevier, ISBN 978-0-12-804291-5, 4th edition, 2017. / <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02071-8>

10 Charu C. Aggarwal, *Data Mining: The Textbook* / Charu C. Aggarwal - Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-14141-1 ISBN 978-3-319-14142-8 (eBook), 2015. – 746 p.

11 Kuandykov A.A., Uskenbayeva R.K., Mukazhanov N.K. *Development of methods for receiving analytical data from different SQL/ NoSQL databases and leading to uniform format* // *Proceedings of the 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015)*, Korea. October 13-16, 2015. 1309-1314 pp.

12 Мукажанов Н.К. *Әртүрлі құрылымды деректерді жедел аналитикалық өңдеу: монография* / Мукажанов Н.К. – ХАТУ, Алматы, 2018. – 290б.

13 Kyubit Business Intelligence-платформасының ресми сайты, *Kyubit Business Intelligence Tutorials* [Электронды ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.kyubit.com/Stuff/Kyubit-Self-Service-BI.pdf/> (Қатынау күні: 12.01.2022 ж.)

14 Kyubit Business Intelligence-платформасының ресми сайты, *OLAP Reports and Analysis within your browser*, [Электронды ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.kyubit.com/tutorials/> (Қатынау күні: 12.01.2022 ж.)

15 MS Analysis Services құжаттамасы / *Microsoft Docs*, [Электронды ресурс]. – 2021. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/analysis-services/analysis-services-overview?view=asallproducts-allversions> (Қатынау күні: 25.11.2021ж.)

References:

1 Omar Boutkhoum, Mohamed Hanine, *An integrated decision-making prototype based on OLAP systems and multicriteria analysis for complex decision-making problems* // *Applied Informatics* 4:11. 2017. 2-24. (in English) DOI: <https://doi.org/10.1186/s40535-017-0041-6>

2. Dr. Tawfik M. Younis M. Tawfik El Masry, *Decision support system in supply chain management* // *European Journal of Logistics, Purchasing and Supply Chain Management*. 2017. Vol.5 No.5, pp.40-51

3 Tongzhu LIU, Aizong SHEN,2 Xiaojian HU,1 Guixian TONG,2 and Wei GU. *The Application of Collaborative Business Intelligence Technology in the Hospital SPD Logistics Management Model* // *Iran Journal of Public Health*. 2017 Jun; 46(6): 744–754

4 Zhang Jing, Li Na, and Yang Jie, *lv Na4, The Application of OLAP in Logistics System Of Steel-Production*, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 577 (2014) pp 1296-1299

5 Chaoqun Zhan, Maomeng Su, Chuangxian Wei, Xiaoqiang Peng, Liang Lin, Sheng Wang, Zhe Chen, Feifei Li, Yue Pan, Fang Zheng, Chengliang Chai *Alibaba Group, AnalyticDB: Real-time OLAP Database System at Alibaba Cloud* // *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2019. Vol. 12, No. 12. ISSN 2150-8097. DOI: <https://doi.org/10.14778/3352063.3352124>

6 Adhish Nanda, Swati Gupta, Meenu Vijrania, *A Comprehensive Survey of OLAP: Recent Trends* // *3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*. 2019. Publisher: IEEE. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECA.2019.8822203>

7 Ramesh Venkatakrishnan. *Design, Implementation, and Assessment of Innovative Data Warehousing; Extract, Transformation, and Load (ETL); and Online Analytical Processing(OLAP) on BI* // *International Journal of Database Management Systems (IJDMS)* Vol.12, No.3, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijdms.2020.12301>

8 Bernard Marr, *Data Strategy How to Profit from a World of Big Data, Analytics and Artificial Intelligence* / Bernard Marr, ISBN-13: 978-1398602588, 2nd Edition, 2021

9 Ian Witten, Eibe Frank, Mark Hall, Christopher Pal, *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques* / Ian Witten, Eibe Frank, Mark Hall, Christopher Pal - Elsevier, ISBN 978-0-12-804291-5, 4th edition, 2017. / <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02071-8>

10 Charu C. Aggarwal, *Data Mining: The Textbook* / Charu C. Aggarwal - Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-14141-1 ISBN 978-3-319-14142-8 (eBook), 2015. – 746p.,

11 Kuandykov A.A., Uskenbayeva R.K., Mukazhanov N.K. *Development of methods for receiving analytical data from different SQL/ NoSQL databases and leading to uniform format* // *Proceedings of the 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015)*, Korea. October 13-16, 2015. 1309-1314 pp.

12 Mukazhanov N.K. *Arturli kurylymды derekterdi zhedel analitikalyk ondeu [Fast analytical processing of various structured data]: monografiya*. Mukazhanov N.K. – HATU, Almaty, 2018. – 290b. (In Kazakh)

13 *Kyubit Business Intelligence - platform official website* [The official site of the Kyubit Business Intelligence platform], *Kyubit Business Intelligence Tutorials* [Electronic resource]. 2021. URL: <https://www.kyubit.com/Stuff/Kyubit-Self-Service-BI.pdf/> (date of appeal: 12.01.2022 y.)

14 *Kyubit Business Intelligence - platform official website* [The official site of the Kyubit Business Intelligence platform], *OLAP Reports and Analysis within your browser*, [Electronic resource]. 2021. URL: <https://www.kyubit.com/tutorials/> (date of appeal: 12.01.2022 y.)

15 *Analysis Services documentation* [MS Analysis Services documentation]. *Microsoft Docs*, [Electronic resource]. 2021. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/analysis-services/analysis-services-overview?view=asallproducts-allversions> (date of appeal: 25.11.2021 y.)

И.А. Пирманов¹, Ж.Ж. Айнакулов^{2*}, Д.В. Зувев¹, Н.В. Астапенко³, И.О. Федоров¹, К.Т. Кошеков¹

¹ АО «Академия гражданской авиации», г. Алматы, Казахстан

² Казахский Национальный Аграрный Исследовательский Университет, г. Алматы, Казахстан

³ Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан

*e-mail: jaras1987@mail.ru

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ VR ДЛЯ РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация

Эффективное инженерное образование, особенно в области гражданской авиации – важная проблема. Традиционные методы сложны и дороги, необходимо внедрять новые образовательные средства и технологии. Предлагается использовать возможности виртуальной реальности. В данном отчете представлена методология, которую можно использовать для создания приложений иммерсивной виртуальной реальности (VR), предназначенных для обучения. Изучен механизм создания 3D моделей узлов любой степени сложности и назначения в программном комплексе SolidWorks, предназначенном для автоматизации работ промышленного предприятия. Изучена техника сглаживания моделей для придания им реалистичности в пакете для создания трехмерной компьютерной графики Blender3D. Рассмотрен способ создания сценариев обучающих программ в программном пакете Unreal Engine 4.

Ключевые слова: virtual reality, 3D модель, Unreal Engine, SolidWorks, Blender3D.

Аңдатпа

ҮШАҚ ЖӨНДЕУ ҮШІН VR ОҚЫТУ БАҒДАРЛАМАСЫН ӨНДІРУ ТӘРТІБІ

И.А. Пирманов¹, Ж.Ж. Айнакулов^{2*}, Д.В. Зувев¹, Н.В. Астапенко³, И.О. Федоров¹, К.Т. Кошеков¹

¹ АҚ «Азаматтық авиация академиясы», Алматы қ., Қазақстан

² Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

³ М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан

Тиімді инженерлік білім, әсіресе азаматтық авиация саласында маңызды мәселе болып табылады. Дәстүрлі әдістер күрделі және қымбат, сондықтан жаңа білім беру құралдары мен технологияларын енгізу қажет. Виртуалды шындықтың мүмкіндіктерін пайдалану ұсынылады. Бұл есеп оқуға арналған виртуалды шындыққа (VR) арналған қосымшаларды құруға болатын әдістемені ұсынады. Өнеркәсіптік кәсіпорын жұмысын автоматтандыруға арналған SolidWorks бағдарламалық кешенінде кез келген күрделілік пен мақсаттағы түйіндердің 3D модельдерін құру механизмі зерттелді. Blender3D үш өлшемді компьютерлік графиканы құруға арналған пакетте оларды шынайы ету үшін тегістеу әдістері зерттелді. Unreal Engine 4 бағдарламалық кешенінде оқу бағдарламаларының сценарийлерін құру әдісі қарастырылған.

Түйін сөздер: виртуалды виртуалды шындық, 3D моделі, Unreal Engine, SolidWorks, Blender3D.

Abstract

TECHNIQUE FOR DEVELOPING VR TRAINING SOFTWARE FOR AIRCRAFT REPAIR

Pirmanov I.A.¹, Ainakulov Zh.Zh.^{2*}, Zuev D.V.¹, Astapenko N.V.³, Fedorov I.O.¹, Koshekov K.T.¹

¹ JSC «Civil Aviation Academy», Almaty, Republic of Kazakhstan

² Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan

³ M. Kozymbayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

An effective engineering education is an important issue, especially in the field of civil aviation. Traditional methods are complex and expensive, and new educational tools and technologies need to be introduced. It is proposed to use the capabilities of virtual reality. This report presents a methodology that can be used to create immersive virtual reality (VR) applications for learning. The mechanism of creating 3D models of nodes of any complexity and purpose in the SolidWorks software package, designed to automate the work of an industrial enterprise, has been studied. The technique of smoothing models to make them realistic in the package for creating three-dimensional computer graphics Blender3D has been studied. A method for creating scripts for training programs in the Unreal Engine 4 software package is considered.

Keywords: virtual reality, 3D model, Unreal Engine, SolidWorks, Blender3D.

Введение

Современный процесс обучения в эпоху информатизации существенно расширяет арсенал средств обучения. Приложения VR (англ. virtual reality – виртуальная реальность) становятся более доступными благодаря более качественному и быстрому оборудованию, а благодаря новым технологиям и более быстрым сетевым соединениям они также начинают появляться в Интернете. Техника виртуальной реальности имеет большое влияние на области, в которых упор делается на практическом подходе, или на области с низкой устойчивостью к ошибкам, такие как ремонт авиационной техники. Внедрение обучающих программ посредством технологии VR позволит улучшить качество и сократить период обучения, что скажется на экономии денежных средств, затрачиваемых на подготовку ученика [1]. Обучающие программы можно будет использовать в ежегодном процессе обучения специалистов, проводимом в начале каждого года для поддержания квалификации.

Разработка таких приложений по-прежнему остается специализированным, трудоемким и дорогостоящим процессом. Разработка виртуальной среды - это конкретная задача. Создание небольших проектов виртуальной реальности не требует большой подготовки или методического подхода, но по мере того, как проекты становятся крупнее и сложнее, требования на начальных этапах проектов растут.

На рынке есть инструменты для разработки виртуальной реальности, а это означает, что есть несколько вариантов на выбор. Анализируя мировые тенденции развития систем автоматизированного проектирования, можно сделать вывод, что сейчас наблюдается очередной качественный переход в развитии 3D-моделирования – в сторону единых интегрированных решений [2]. Сравнительные анализы наиболее популярных сред для разработки VR приложений, представленные в работах [3-4], рекомендуют Unreal Engine 4 как лучший выбор для создания VR приложений с использованием Oculus Rift. Однако это не лучший выбор для создания 3D моделей деталей авиационной техники. Недавний обзор инструментального многообразия AR / VR [5] показывает, что существует быстро растущее число инструментов для разработки, но лишь несколько точек перехода между ними. В данном исследовании представлена методика разработки VR приложения, в котором должны быть использованы высокоточные 3D модели деталей.

Методология исследования

Создание качественных 3D моделей деталей для VR приложения требует грамотного подбора программных сред разработки. В рамках предлагаемой методики рекомендуются к использованию следующие программные инструменты.

Программный комплекс SolidWorks [6-8]: позволяет смоделировать изделия любой степени сложности и назначения. Программа для проведения трехмерного проектирования под названием SolidWorks в процессе работы использует привычный многим пользователям интерфейс Windows и при этом является полностью русифицированной. Все методические пособия также представлены на русском языке во всех доступных версиях. Процесс построения 3D-модели основывается на создании элементарных геометрических примитивов и выполнении различных операций между ними.

Это мощное средство автоматизированного проектирования обладает следующими преимуществами:

- подготовка производства разнообразных изделий независимо от их сложности и функционального назначения;
- отсутствие ограничений по количеству компонентов сложных сборок;
- широкие возможности для оформления необходимой конструкторской документации;
- возможность испытания спроектированных моделей на прочность в приближенных к реальным условиям;
- полная русификация;
- отличное соотношение по цене и производительности;
- простое использование и поддержка нескольких стандартов.

Недостатком SolidWorks является некорректное автоматическое проставление размеров, что легко исправляется пользователем вручную.

Blender3D [9-10]: объектно-ориентированная программа для создания трехмерной компьютерной графики.

Достоинства Blender3D:

- свободный движок 3D моделирования с открытым исходным кодом, что позволяет при навыках программирования вносить изменения в программу по своему усмотрению;
- небольшой объем дистрибутива, который составляет порядка 50 мегабайт;
- интегрированные шесть движков рендеринга, а также возможность подключения сторонних, как платных, так и бесплатных движков рендеринга;
- возможность сохранения всех текстур и ресурсов в едином файле;
- множество языков как интерфейса, так и подсказок, что исключает какие-либо проблемы с пониманием интерфейса.

Единственный недостаток у Blender3D – это плохая документированность, однако в последнее время данная проблема достаточно интенсивно решается.

Unreal Engine 4 [11]: это набор инструментов для разработки игр, имеющий широкие возможности. В Unreal Engine 4 используется язык программирования C++, а также позволяет создавать скрипты без программирования редактор визуального скриптинга Blueprint.

Достоинства среды Unreal Engine:

- бесплатный движок, весь инструментарий доступен сразу и в полном объеме для создания приложения высшего качества;
- есть все необходимые инструменты для дизайнеров и программистов VR, причем весь исходный код открыт и любую часть можно модернизировать под проект, что делает систему более гибкой;
- после запуска редактора, в несколько кликов позволяет создать проект, в котором уже есть шаблон приложения [12-14].

Единственный минус Unreal Engine – это завышенная цена в магазине на контент.

Результаты исследования

В результате исследования формализована процедура получения VR приложений, оперирующих 3D моделями деталей авиационной техники. Логическая схема процедуры представлена на рисунке 1. В результате выполнения схемы получается готовое VR приложение (в формате APK), содержащее 3D модели.

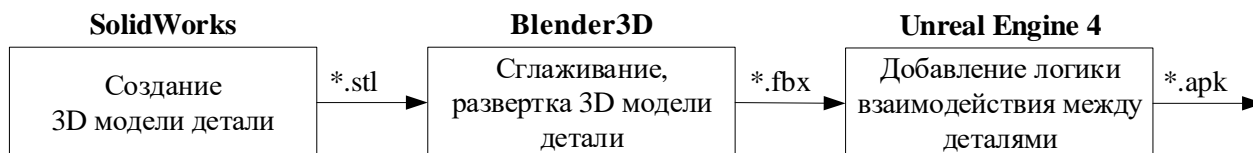


Рисунок 1. Логическая схема процедуры разработки обучающих программных средств VR на основе 3D моделей деталей авиационной техники

В программном комплексе SolidWorks выполняется следующая последовательность действий:

Этап 1. Выбрать плоскость на которой будет построен эскиз.

Этап 2. Если стандартных не хватает, настроить новую плоскость.

Этап 3. Построить эскизы на плоскостях.

Этап 4. Выбрать по какому принципу будет создаваться 3D модель по готовым эскизам (вытянуть по оси, обернуть вокруг оси, выбрать несколько эскизов для профиля и создать плавный переход от одного к другому, что-то вырезать, что-то скруглить, также разными способами и т.д.).

Этап 5. Для импорта в Blender3D сохранить в формате STL. Происходит превращение твердотельной модели в полигональную. Формат STL сохраняет информацию об объекте как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей.

Пример готовой детали, реализованной в SolidWorks представлен на рисунке 2.

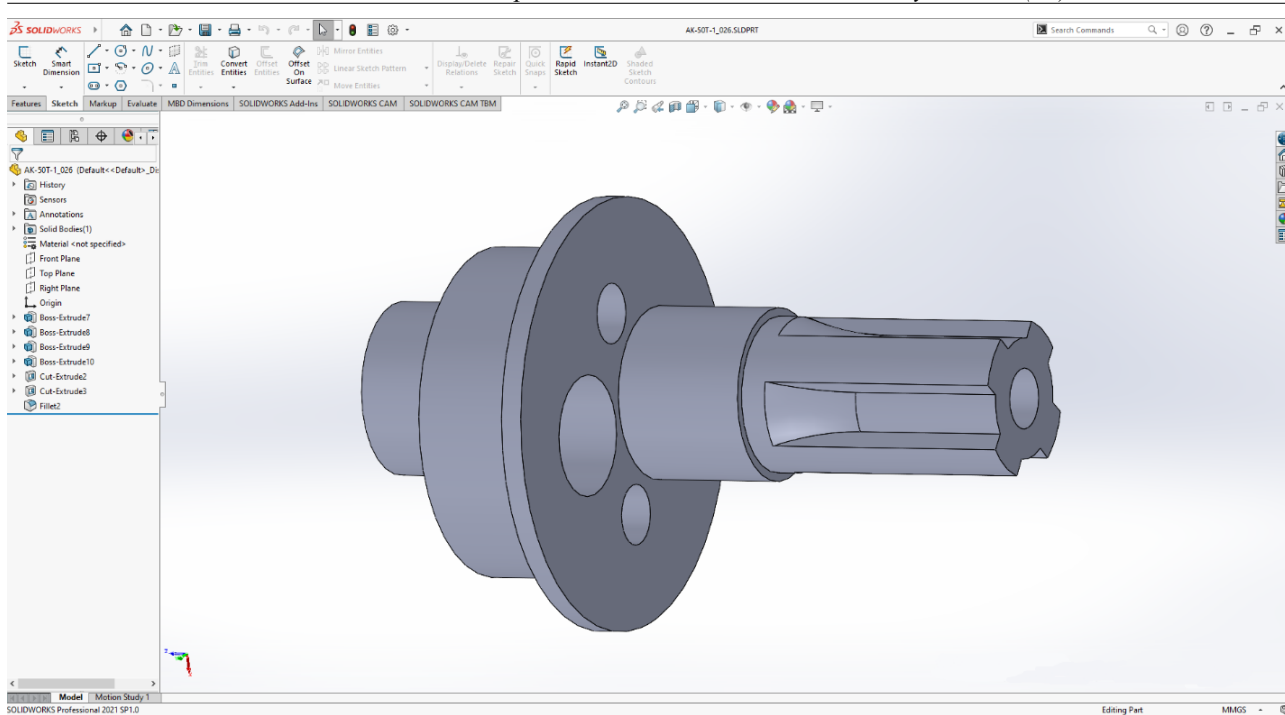


Рисунок 2. Готовая деталь в SolidWorks

В программном комплексе Blender3D выполняется следующая последовательность действий:

Этап 1. После экспорта 3D-модели в формате .stl добавляется сглаженность.

Этап 2. Сделать развертку для каждого полигона.

Этап 3. Назначить материалы на группы полигонов, если это необходимо.

Этап 4. Для импорта в Unreal Engine 4 необходимо экспортировать в формат FBX. Формат FBX сохраняет параметрические данные для каждого полигона, информацию о развёртке, о сглаживании, о материалах.

Сглаживание плоскостей, выполняемое на первом этапе, сначала осуществляется с помощью шейдера, пример представлен на рисунке 3. Далее необходимо сделать 3D-модель визуально неотличимую от оригинала. Для этого создаются группы автосглаживания нормалей. Нормали – это векторы, которые используются для определения того, как свет отражается от поверхности.

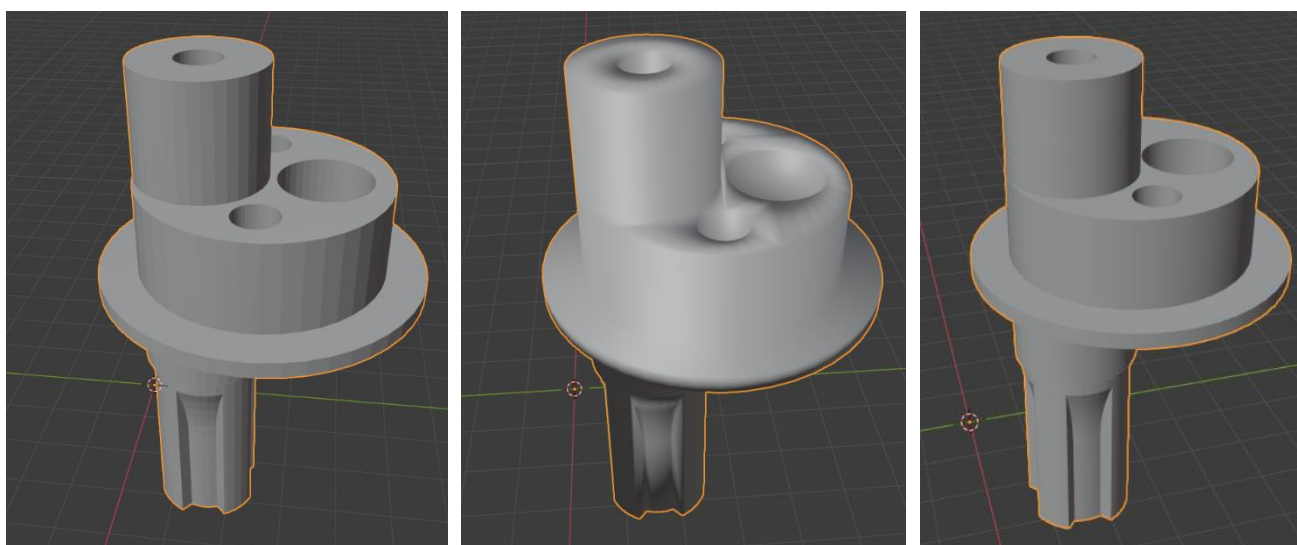


Рисунок 3. Результат сглаживания детали в Blender3D

Опытным путем замечено, что количество точек, граней, плоскостей в результате сглаживания не изменилось. Сохранившееся количество точек, граней, плоскостей означает, что не изменилась нагрузка на центральный процессор, так как для построения модели Blender3D использует те же самые данные, что были получены при импорте STL модели из SolidWorks. Изменился расчет отражения света, то есть подключается GPU (видеокарта). Для фотореалистичного рендера и получения итоговой картинке после всех манипуляций с 3D объектами, уже давно используют видеокарты, а не процессоры. Как правило они изготавливаются именно для этих целей, программное обеспечение на них разработано также для оптимизации рендера в отличие от процессоров.

Рассмотрим выполнение этапа развертки детали с 3D-модели на 2D-текстуру. В рассматриваемом примере вся деталь состоит из одного материала и не будет содержать отрисованных заранее текстур, но этот шаг необходим для корректного отображения материала. Процесс получения развертки представлен на рисунке 4.

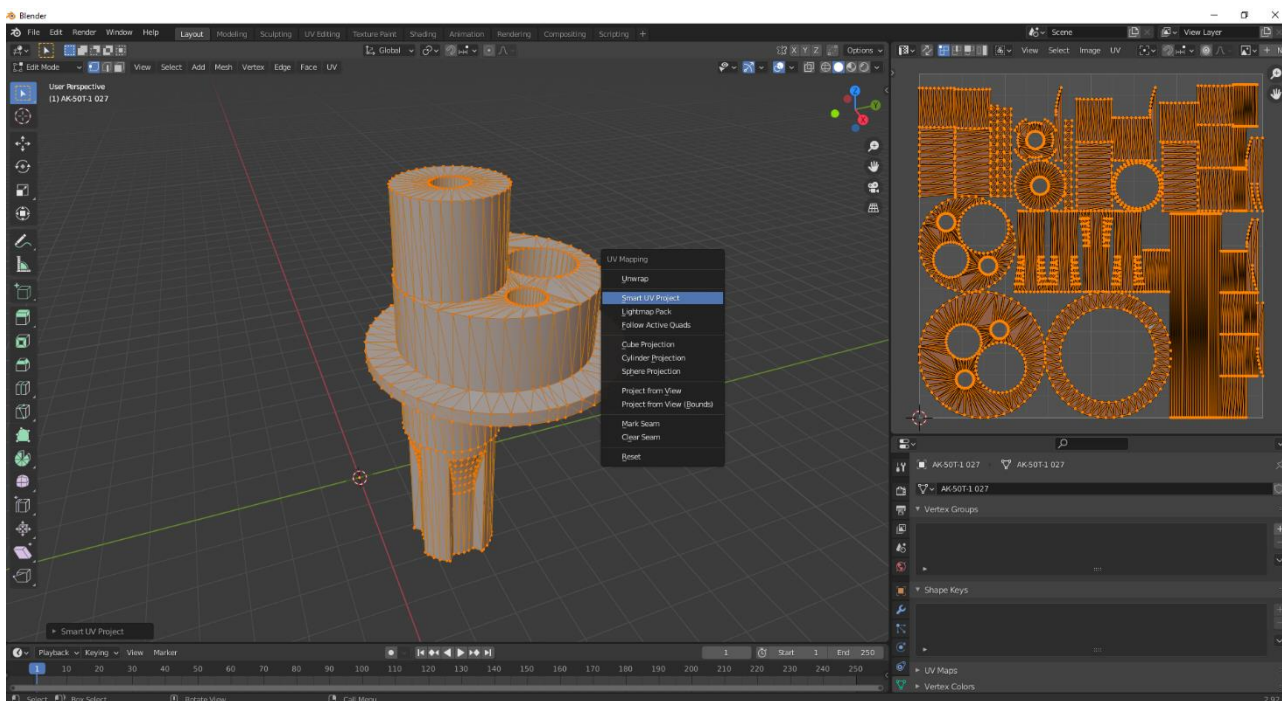


Рисунок 4. Развертка плоскостей с 3D-модели на 2D-текстуру

На следующем этапе, не выходя из режима редактирования, создаем слот для материала каждой детали. В рассматриваемом примере – один вид материала. Настройка материала будет осуществлена в конечной программе – Unreal Engine 4.

Завершающим этапом работы в Blender3D производится экспорт в формат FBX для импорта в Unreal Engine 4. Формат STL сохраняет только параметрические данные формы 3D модели. FBX – вместе с этим сохраняет дополнительную информацию о сглаживании, развертке и материале.

Заключительный этап разработки программного средства VR в Unreal Engine 4 достаточно просто реализуем. Импортируя FBX модель – отдельным файлом добавляется материал, который в Unreal Engine уже и настраивается. После этого остается теперь к новому, красивому 3D объекту добавить логику взаимодействия с пользователем в режиме VR. Пример добавления логики взаимодействия с помощью редактора Blueprint показан на рисунке 5.

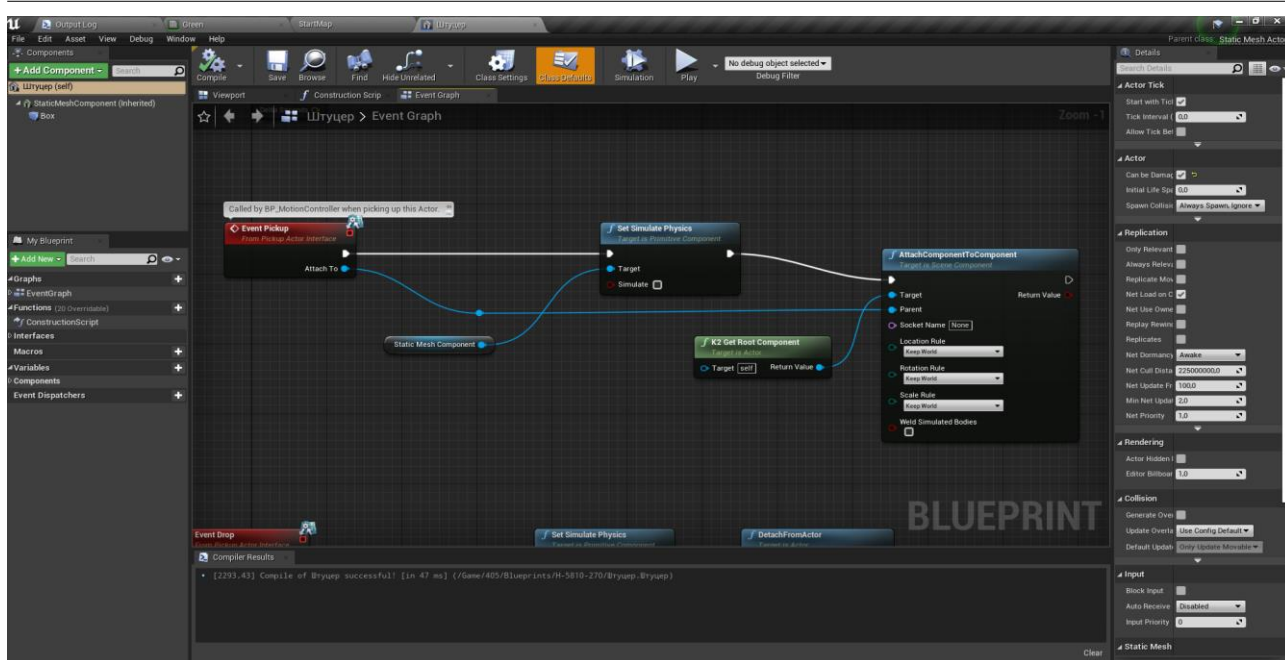


Рисунок 5. Пример реализации логики взаимодействия с помощью редактора Blueprint в Unreal Engine 4

Заключение

VR-технология поддерживает широкий спектр приложений для моделирования и обучения, включая специальные тренировки и реагирование на экстраординарные события. Иммерсивные интерфейсы VR, помогают предприятиям повысить эффективность выполнения задач или сократить расходы с помощью передовых технологий графической визуализации и моделирования. В обучении вместо дорогостоящих инструментов и деталей экономичнее применять их копии в виде 3D-моделей с идентичными физическими свойствами, перенесенными в технологию VR.

Разработка обучающих программных средств VR в области ремонта авиационной техники требует создания высокоточных 3D моделей деталей. Для этих целей недостаточно использование специализированных сред разработки VR. Таким образом, была разработана методика создания интерактивных обучающих программ на основе алгоритмов преобразования конструкторской документации авиационных узлов и агрегатов в подобие реальных объектов посредством последовательной обработки в программных пакетах SolidWorks, Blender3D, Unreal Engine 4.

Благодарности: Работа выполнена в рамках научного гранта ИРН: AP08857126 «Разработка комплекса интерактивных обучающих программ по технологическим процессам ремонта авиационной техники», а также в порядке творческого сотрудничества АО «Академия гражданской авиации», НАО Северо-Казахстанского университета и АО «Авиаремонтный завод №405».

Список использованной литературы:

- 1 Wolfartsberger J., Zenisek J., Sievi C., Silmbroth M. A virtual reality supported 3D environment for engineering design review // In: 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM), 2017. P. 1–8. DOI: 10.1109/VSM2017.8346288.
- 2 Shetty V., Patil M. Study of hardware and software used in: virtual and augmented reality device // National Conference on Technological advancement and automatization in engineering, 2016. P. 177–179.
- 3 Valder J. Comparison between Vizard VR Toolkit and Unreal Engine 4 as platforms for virtual experiments in pedestrian dynamics using the Oculus Rift // <https://juser.fz-juelich.de/record/280982/files/Main%20Paper.pdf> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 4 Šmid A. Comparison of Unity and Unreal Engine // <https://dcgi.fel.cvut.cz/projects/pacman-benchmark/thesis-compressed.pdf> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 5 Кукуть А. 80+ лучших инструментов для разработчиков VR и AR // <https://dev.by/news/80-vr-ar> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)

- 6 SolidWorks Трехмерная проектная среда // <https://www.tadviser.ru/> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 7 Подробный обзор программы SolidWorks // <https://junior3d.ru/article/solidworks.html> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 8 Бондарев Т.П., Морозова Н.В. Достоинства и недостатки в сравнительном анализе систем SolidWorks, Autodesk Inventor и Компас 3D // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2017. - <https://cyberleninka.ru/> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 9 Blender 2.93 Manual // <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 10 Безверхова Л.П., Малков А.В. Использование программы «Blender 3d» в образовательном процессе // Технологическое образование и устойчивое развитие региона, 2014. 1–1(11). С.111–115.
- 11 Unity3D или Unreal Engine 4 // <https://stfalcon.com/ru/blog/post/unity3d-vs-unreal-engine-4> (Дата обращения: 16.02.2021 г.)
- 12 Astapenko, N., Koshekov, K., Ponomarev, G., Seidakhmetov, B., Fedorov, I., & Zuev, D. (2021). Devising an automated method to form the content of educational specialization disciplines of maximum utility for implementation in the professional field. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4(112)), 64–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238874>
- 13 Айнакулов, Ж., Зувев, Д., Сейдахметов, Б., Федоров, И. и Кошекков, К. 2021. ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ. Вестник «Физико-математические науки», 75, 3 (окт. 2021), 35–43. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.04>
- 14 Zuev D.V., Fedorov I.O., Astapenko N.V., Koshekov K.T., Ainakulov Zh.Zh. Mathematical model of nut rotation using a wrench in a virtual reality environment. *Scientific Collection «InterConf»*, (78): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (October 7-8, 2021). Seattle, USA: ProQuest LLS, 2021. P.384-392. <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.10.2021.042>

Refereces

- 1 Wolfartsberger J., Zenisek J., Sievi C., Silmbroth M. (2017) A virtual reality supported 3D environment for engineering design review // In: 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM), 2017. P. 1–8. DOI: 10.1109/VSM.2017.8346288.
- 2 Shetty V., Patil M. (2016) Study of hardware and software used in: virtual and augmented reality device // National Conference on Technological advancement and automatization in engineering, 2016. P. 177–179.
- 3 Valder J. (2021) Comparison between Vizard VR Toolkit and Unreal Engine 4 as platforms for virtual experiments in pedestrian dynamics using the Oculus Rift // <https://user.fz-juelich.de/record/280982/files/Main%20Paper.pdf> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.)
- 4 Šmid A. (2021) Comparison of Unity and Unreal Engine // <https://dcgi.fel.cvut.cz/projects/pacman-benchmark/thesis-compressed.pdf> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.)
- 5 Kukul' A. (2021) 80+ luchshih instrumentov dlja razrabotchikov VR i AR // <https://dev.by/news/80-vr-ar> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.). (In Russian)
- 6 (2021) SolidWorks Trehmernaja projektная среда // <https://www.tadviser.ru/> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.)
- 7 (2021) Podrobnyj obzor programmy SolidWorks // <https://junior3d.ru/article/solidworks.html> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.). (In Russian)
- 8 Bondarev T.P., Morozova N.V. (2017) Dostoinstva i nedostatki v sravnitel'nom analize sistem SolidWorks, Autodesk Inventor i Kompas 3D // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk, 2017. - <https://cyberleninka.ru/> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.). (In Russian)
- 9 (2021) Blender 2.93 Manual // <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.)
- 10 Bezverhova L.P., Malkov A.V. (2014) Ispol'zovanie programmy «Blender 3d» v obrazovatel'nom processe // Tehnologicheskoe obrazovanie i ustojchivoe razvitie regiona, 2014. 1–1(11). С.111–115. (In Russian)
- 11 (2021) Unity3D ili Unreal Engine 4 // <https://stfalcon.com/ru/blog/post/unity3d-vs-unreal-engine-4> (Data obrashhenija: 16.02.2021 g.)
- 12 Astapenko, N., Koshekov, K., Ponomarev, G., Seidakhmetov, B., Fedorov, I., & Zuev, D. (2021). Devising an automated method to form the content of educational specialization disciplines of maximum utility for implementation in the professional field. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4(112)), 64–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238874>
- 13 Ainakulov, Zh., Zuev, D., Sejdahmetov, B., Fedorov, I. i Koshekov, K. (2021) VIRTUAL'NOE MODELIROVANIE I MONITORING DETALEJ AVIACIONNOJ TEHNIKI. Vestnik «Fiziko-matematicheskie nauki», 75, 3 (okt. 2021), 35–43. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.04>. (In Russian)
- 14 Zuev D.V., Fedorov I.O., Astapenko N.V., Koshekov K.T., Ainakulov Zh.Zh. (2021) Mathematical model of nut rotation using a wrench in a virtual reality environment. *Scientific Collection «InterConf»*, (78): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (October 7-8, 2021). Seattle, USA: ProQuest LLS, 2021. P.384-392. <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.10.2021.042>

Д.Р. Рахимова¹, Б.Б. Бурибаев¹, Ә.Т. Турарбек^{1*}, Н.А. Кенесова¹

¹ Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: asem.turarbek@kaznu.edu.kz

ІТ ТЕРМИНДЕРІ МЕН СӨЗ ТІРКЕСТЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ СӨЗДІГІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ӘДІСТЕРГЕ ШОЛУ

Аңдатпа

Зерттеудің мақсаты – ІТ терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолданылатын әдістерге шолу жасау және сөз мағынасын сақтай отырып тәржімесін беретін әдісті таңдау. Мақалада электрондық сөздіктерде машиналық аударуда қолданылатын әдістер қарастырылады: тура аударма әдісі, жанама аударма әдісі, кері аударма әдісі – олардың ішінде тура аударма мен жанама аударма бірнеше ішкі әдістерден тұрады. Бұл әдістерден бір ғана терминологиялық сөз тіркесінің әр түрлі әдістерді қолдану арқылы, бірнеше мағыналы аудармасын ала алатынымыз көрінді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы- қазіргі қарқынды дамып келе жатқан Ақпараттық технологиялар саласындағы терминдер мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолданылатын әдістерді анықтау.

Нәтижесінде тура аударма мен кері аударма әдістері – Ақпараттық технологияларда пайдаланылатын терминдер мен сөз тіркестерінің аудармаларының бастапқы мағынасы мен мәнін сақтайтын әдістер екендігі анықталды.

Түйін сөздер: ақпараттық технологиялар, сөз тіркестері, тура аударма, жанама аударма, кері аударма, сөзбе-сөз аударма, электрондық сөздік.

Аннотация

Д.Р. Рахимова¹, Б.Б. Бурибаев¹, А.Т. Турарбек^{1*}, Н.А. Кенесова¹

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ОБЗОР МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОННОМ СЛОВАРЕ ІТ ТЕРМИНОВ И СЛОВСОЧЕТАНИЙ

Цель исследования – обзор методов, используемых в электронном словаре ІТ-терминов и словосочетаний, и выбор метода, обеспечивающего перевод с сохранением значения слова. В статье рассматриваются методы, используемые в машинном переводе в электронных словарях: метод буквального перевода, метод косвенного перевода, метод обратного перевода – из них буквальный перевод и косвенный перевод состоят из нескольких внутренних методов. Из этих методов видно, что только одно терминологическое словосочетание может получить многозначный перевод с использованием различных методов. Научная новизна работы заключается в определении методов, используемых в электронном словаре терминов и словосочетаний в области современных динамично развивающихся информационных технологий.

В результате было установлено, что методы буквального перевода и обратного перевода – это методы, сохраняющие первоначальное значение и значение переводов терминов и словосочетаний, используемых в информационных технологиях.

Ключевые слова: информационные технологии, словосочетания, буквальный перевод, косвенный перевод, обратный перевод, дословный перевод, электронный словарь.

Abstract

OVERVIEW OF THE METHODS USED IN THE ELECTRONIC DICTIONARY OF IT TERMS AND PHRASES

Rakhimova D.¹, Buribaev B.¹, Turarbek A.¹, Kenessova N.¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The purpose of the study is to review the methods used in the electronic dictionary of IT terms and phrases, and to choose a method that provides translation while preserving the meaning of the word. The article discusses the methods used in machine translation in electronic dictionaries: the method of literal translation, the method of indirect translation, the method of reverse translation – of these, literal translation and indirect translation consist of several internal methods. It can be seen from these methods that only one terminological phrase can receive a multi-valued translation using various methods. The scientific novelty of the work consists in determining the methods used in the electronic dictionary of terms and phrases in the field of modern dynamically developing information technologies.

As a result, it was found that the methods of literal translation and reverse translation are methods that preserve the original meaning and meaning of translations of terms and phrases used in information technology.

Keywords: information technologies, phrases, direct translation, indirect translation, reverse translation, literal translation, electronic dictionary.

Кіріспе

Соңғы онжылдықта қазақ тілінің салалық сөздіктері ақпараттық технологиялар кеңістігіне айтарлықтай бейімделді деп айтуға болады, бірсыпыра электрондық, түсіндірмелік, терминологиялық онлайн-сөздіктер жарияланды. Қазақ тіліне Ақпараттық технологиялар терминдері мен сөз тіркестерін алу, аудару негізінен ағылшын және орыс тілдері арқылы жүргізіледі, ол ұлтаралық қатынас функциясын орындайды [1]. Алайда, аударуға деген сыни көзқарасы бар немесе аударуда қиындықтар тудыратын ІТ терминдер өте көп. Оларды «өз» атауларымен атау өте маңызды, себебі бұл терминдер мен сөз тіркестерінің мағынасының жоғалуына алып келеді [2].

Қазақстан үшін терминологиялық аударма проблемасы өте өзекті, өйткені Қазақстан қазіргі уақытта әлемдік кеңістікке белсенді интеграциялануда және ғылымның, ақпараттық технологиялардың, білім беру саласында қазіргі заманғы ақпаратты аудару қажеттіліктері жыл сайын қарқынды түрде өсуде [3]. Қазіргі уақытта ІТ-технологиялар-қарқынды дамып келе жатқан салалардың бірі. Жоғары технологиялар, бағдарламалық қамтамасыз ету, ақпараттық қауіпсіздік – бұл ІТ-терминдер мен сөз тіркестерінің аудармасы қажет болуы мүмкін ең кең таралған салалар. ІТ-технологиялардың қомақты үлесі шетелде әзірленуде, сондықтан терминологиялық база негізінен ағылшын тілінде қалыптасады. Бұл ілеспе әдебиеттерге, анықтамалықтарға, презентациялар мен пресс-релиздерге де қатысты. Ағылшын тілінен орыс тіліне дұрыс және нақты аударма ала білу өте маңызды, өйткені оның көмегімен жаңа әзірлемелердің, бағдарламалардың барлық мүмкіндіктері игеріледі.

«Қазақ тіліндегі 100 жаңа оқулық» жобасы аясында түрлі салалардың әлемдегі ең үздік 100 оқулықты таңдап, оларды қазақ тіліне аудару ұсынылған болатын. Осы таңда ақпараттық технологиялар саласындағы оқулықты аударуда, қазақша баламасын жасауда нақты терминдер мен сөз тіркесінің аудармасы, тіпті сөздігі болуы өте өткір мәселе. Бұл қазіргі ғаламдық ақпараттық жаһандану заманында маңызды болып табылады. 2017 жылы шыққан «Болашаққа бағдар: рухани жаңғыру» атты бағдарламасының негізі, іргетасы – қазақ тілі мәселесі. Қазақ тілінің дамуы – рухани жаңғыруымыздың бастамасы, шешуші факторы болып табылады. Осы себепті қазақ тілінің ұлттық ерекшеліктерін, боямасын сақтап, қазақ тілінің әлемдік ақпараттық кеңістікке тиімді түрде енуінің алғышарттарын қалыптастырып, ІТ терминдерінің және сөз тіркестерінің дұрыс аудармасы мен нақты түсініктемесін беріп, Қазақстанда ақпараттық коммуникациялық технологиялардың кеңінен таралуына мүмкіндік жасауымыз керек. Ең бастысы, Тіл мәртебесі – ел мәртебесі екенін ұмытпауымыз маңызды.

Терминологиялық жұмыстардың сапалы әрі уақытылы жүргізіп, ғылыми ұғымдар жүйесін тілдік тұрғыдан да жүйелей білу – қазақ тілінің ғылым мен технология тілі, ғылыми ақпараттар алуға қабілетті тіл ретінде танылуының басты шарттарының бірі. Мұны қамтамасыз ету үшін терминтанудың ғылым ретінде жақсы дамуымен қатар, республика көлемінде атқарылатын үйлестіру, ұйымдастыру жұмыстарын да жолға қою қажет.

Термин – ғылым мен білімнің тілі, сан алуан ғылым мен білімнің ұғымдары, түсініктерінің атаулары, сөздері мен сөз тіркестері. Кәсіби сала терминдерін білмейінше кәсіби маман болу мүмкін емес. Кез келген терминнің негізгі сипаттамаларының бірі-оның бірегейлігі. Басқа қасиеттеріне стилистикалық бейтараптық және эмоционалды бағалаудың болмауы, тілдің туынды заңдылықтарына сәйкестігі, номинативтілік және нақтылық, сонымен қатар жүйелілік жатады. Осы қасиеттерге сүйене отырып, терминологияны одан әрі дамыту және терминологиялық қорды қалыптастыру бағытын, ертеңгі күннің талаптарына жауап беретін жетілген терминологиялық және түсіндірмелік электрондық сөздікті айқындау үшін қазақ лексикологиясының өткен және қазіргі жай-күйін жан-жақты зерттеп-зерделеу және терең ғылыми сараптамалар жүргізу қажеттілігі туындап отыр. Қазіргі жаһандық терминология – лингвистика шеңберінен шығып, басқа да ғылым салаларында даму үстінде, ғылым академиялары, лингвистикалық институттар, министрліктер мен ведомстволар тікелей шұғылданып, елдің экономикалық-әлеуметтік дамуының тілдік қажеттіліктері мен мұқтажын өтейтін дербес салаға айналды. Бұны халықаралық терминологиялық тәжірибе, терминологияның даму үдерістері айқын көрсетіп отыр. Қазіргі қазақ терминологиясы ғасырлық

тарихы бар, ғылыми негізі, қағидаттары мен ұстанымдары, зерттеу әдістері мен тәсілдері қалыптасқан, басқа да ғылым салаларымен тығыз байланыс үстінде дамып келе жатқан сала [4].

Зерттеу әдіснамасы

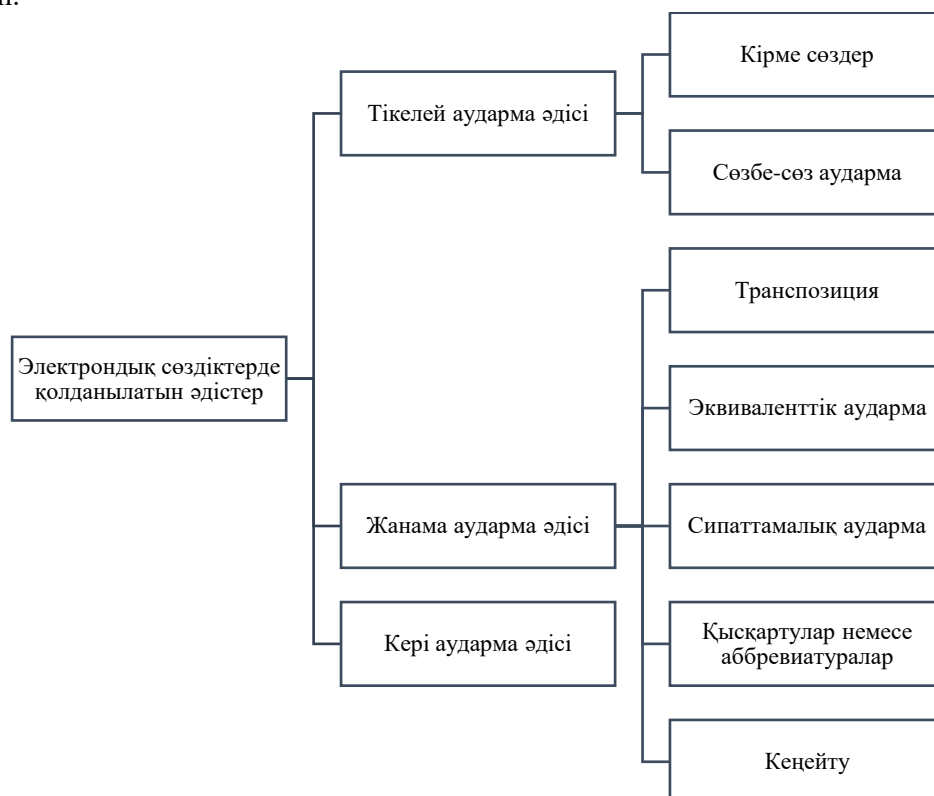
Аударма дегеніміз – жазбаша мәтіннің мағынасын бір тілден екінші тілге аудару. Электрондық сөздіктердің аударма жүйесінде бүкіл мәтін үшін тек бір әдісті таңдағанымен, жеке сөздер мен сөз тіркестеріне қолдануға болатын бірқатар әдістер бар. Дұрыс техниканы мұқият таңдай отырып, аудармашы әр тіл элементін мүмкіндігінше дәл жеткізе алуы керек. Кез келген электрондық сөздік машиналық аудармаға негізделеді. Машиналық аударма – арнайы компьютерлік бағдарламаны қолдана отырып, терминдер мен сөз тіркестерін бір табиғи тілден екінші тілге аудару процесі [5].

Машиналық аудару кезінде компьютер мен адамның өзара іс-қимылын ұйымдастырылуы:

- Пост-редакциялау: бастапқы мәтінді машина өңдейді, ал адам редакторы нәтижені түзетеді және өңдейді.
- Алдын-ала өңдеу: адам мәтінді машинамен өңдеуге бейімдейді (мүмкін болатын екіұштылықты жояды, мәтінді жеңілдетеді және белгілейді), содан кейін бағдарламалық жасақтама басталады.
- Интерредакциялау: адам қиын жағдайларды шеше отырып, аударма жүйесінің жұмысына араласады.
- Аралас жүйелер (мысалы, алдын-ала және пост-өңдеумен бірге).

Қазіргі уақытта табиғи тілді өңдеуге байланысты әртүрлі зияткерлік жүйелер белсенді түрде құрылуда. Өкінішке орай, қазақ тілін мәтіндік өңдеу мәселелері нашар дамыған, бұл ақпараттық технологиялардың дамуына кедергі келтіреді [6]. Машиналық аударуды толықтай адамның қатысуынсыз және аударманың нақтылығы мен мағыналығын сақтай отырып жүзеге асыру үшін, түрлі әдістер қолданылады.

IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолданылатын әдістер сурет 1-де берілген:



Сурет 1. IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолданылатын әдістер диаграммасы

1. Тура аударма әдістері бастапқы тілдің тұжырымдамалары мен құрылымын мақсатты тілде қолдануға болатын кезде қолданылады:

- Кірме сөздер – бұл сөздердің немесе тіркестердің бастапқы мәтіннен тікелей алынып, аударма тілге ауысуы. Бұл әдіс көбінесе мақсатты тілдің баламасы болмаған кезде қолданылады және бастапқы мәтіннің мағынасы мен контекстін сақтауға көмектеседі. Мысалы: компьютер, сервер.

- Сөзбе-сөз аударма. Сөзбе-сөз аударманы пайдаланған кезде әрбір сөз тікелей аударылады. Мақсатты мәтін идиоматикалық болуы керек және бастапқы мәтін сияқты сөздердің ретін, мағынасын және стилін сақтауы керек. Бірақ бұл әдіс бастапқы мәтіннің нюанстарын жіберіп алуы мүмкін. Мысалы: Хранилище данных – деректер қоймасы. Сөзбе-сөз аударма түрлеріне кесте 1-де берілген.

Кесте 1. Аударудың калькалау және семантикалық неологизм әдістері

| | |
|------------------------|---|
| Калькалау | Терминнің немесе сөз тіркесінің комбинаторлық құрамын жаңғырту, онда терминнің немесе сөз тіркесінің құрамдас бөліктері кейіннен аударылған бөліктерді қандай да бір өзгеріссіз қоса отырып, аударма тілінің тиісті элементтерімен аударылады. |
| Семантикалық неологизм | Семантикалық неологизм – аудармашы ойлап тапқан және тілдік бірліктің семантикалық мазмұнын жеткізуге мүмкіндік беретін жаңа сөз немесе сөз тіркесі. Бұл әдіс калькуляциядан түпнұсқа сөзбен этимологиялық байланыстың болмауымен ерекшеленеді. |

2. Жанама аударма әдістері екі тіл грамматикалары бір-бірінен алшақ болған кезде қолданылады. Бұл әдістер:

1) Транспозиция мағынасын сақтай отырып, бір грамматикалық категориядан екіншісіне ауысуды қамтиды. Бұл аударма әдісі әр түрлі грамматикалық құрылымы бар тілдер арасында жиі қолданылады.

2) Эквиваленттік аударма – басқа тілде толық сәйкес келетін сөздер немесе сөз тіркестері. Эквиваленттер толық (шет тіліндегі сөздің мағынасын толығымен жабады) және ішінара (сәйкестік мағыналардың біреуіне ғана қатысты); абсолютті – сол функционалды стильге жатады және бастапқы тілдің сөзімен бірдей экспрессивті функцияға ие және салыстырмалы – мағынасына сәйкес келеді. Барлық лексикалық сәйкестіктерді екі негізгі топқа бөлуге болады: эквиваленттер және түрлі сәйкестіктер. Эквиваленттер дегеніміз – контекстке қарамастан, мағыналары әрқашан екі тілде де сәйкес келетін сөздер. Бірақ балама мағынасы бар мұндай сөздер өте аз. Мәтіндердің толық эквиваленттілігіне қол жеткізудегі ең айқын кедергі, әрине, сөздердің көп мағыналылығы. Негізінен терминдер құрайтын салыстырмалы түрде аз сөздерді қоспағанда, тілде бір мағыналы сөздердің іс жүзінде жоқ екені белгілі. Бірақ бұл дегеніміз, терминдер тек бірмағыналы сөздер дегенді білдірмейді [7].

3) Сипаттамалық аударма – аударма тіліне баламалардың болмауы салдарынан тілдік бірлікті берудің басқа мүмкіндігі болмаған жағдайларда қолданылатын аударма әдісі.

4) Қысқартулар немесе аббревиатуралар. Қысқартылған кезде аудармашы аударма тілінде артық деп саналатын бастапқы мәтінді құрайтын кез-келген сөздерді жояды. Аббревиатуралар ІТ саласындағы ғылыми-техникалық мақалалардың құрамдас бөлігі болып табылады. Мысалы, көптеген оқулық пен сөздіктерде айнымалылар мен мәннен var және val, const – тұрақты, params – params сияқты аббревиатураларды таба аласыз. Бұл аббревиатуралардың кеңінен қолданылуы толық сөзді жазу кодта көп уақыт пен есте сақтауды қажет ететіндігімен түсіндіріледі. Бағдарламашылар кодты оңтайландыруға және шамадан тыс жүктемеуге тырысатындықтан, қысқаша ұмтылуды тікелей сөздіктерден байқауға болады [8].

5) Кеңейту. Қысқартудың керісінше, мағынаны сақтау үшін сөздер қосылған кезде. Бұл сөйлем құрылымындағы, грамматикадағы немесе терминологиядағы айырмашылықтарға байланысты болуы мүмкін. Терминдерді бір мағыналы, сондықтан оларды «аударуға», яғни аудармада ағылшын, орыс тілінің «сәйкес» сөздерімен алмастыруға болады деп ойлайтын адамдар жиі қателеседі. Себебі олар бір мағыналы халықаралық терминді қабылдайды, ал шын мәнінде терминнің немесе терминологиялық тіркестің мағынасы мүлде басқаша болуы мүмкін. Тіпті терминдер әртүрлі контексте әртүрлі нәрселерді білдіреді; мысалы, flush терминінің келесі мағыналары болуы мүмкін: өрісті туралау; абзацсыз теру; мәтінді туралау; ауысым; дискідегі кэш мазмұнын тазарту [9].

3. Кері аударма әдісі дегеніміз – термин мен сөз тіркесі берілген мақсатты тілге аударылып, содан кейін бұл аударма бастапқы тілге аударылатын аударма процесі. Көптеген лингвистикалық бағыттарда түпнұсқа мен аударма мәтіндерін салыстырудың дәстүрлі әдісі өте қиын және әрдайым зерттеудің ең көрнекі құралы бола бермейді. Осы кемшіліктерді жою мақсатында біз дереккөздерді салыстыру құралы ретінде кері аударманы, яғни мәтінді аударма тілінен түпнұсқа тіліне аударуды ұсынады.

Зерттеу нәтижелері

IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолданылатын әдістерге шолу жасай келе, ең ыңғайлы және дұрыс әдіс – тура аударма және кері аударма әдісі болып табылады. Себебі, кері аударма әдісі тура және жанама аударманың қасиеттерін қамтиды, ал тікелей аударма терминдердің нақтылығын сақтауға мүмкіндік береді. Кері аударма, сонымен қатар қос аударма деп те аталады, мазмұнды мақсатты тілден бастапқы тілге тура аудару процесі. Кері аударманың мақсаты – лексикалық, синтаксистік және грамматикалық деңгейлердегі терминдер мен сөз тіркестерінің максималды эквиваленттілігіне қол жеткізу, бұл тапсырманы орындау үшін кері аударманы жүзеге асыру кезінде әр деңгейдің тілдік құралдарын таңдау принциптері мен ережелерін әзірлеу қажет. Аударылған мәтіннің екінші аудармасында біз сөзбе-сөз немесе тура аударманы қолданамыз [10].

Өзара әрекеттесу тілі және робототехника институтының Информатика мектебінің оқытушысы Рико Санрихтың 2016 жылғы кері аударма туралы эталондық мақаласында сөздерді сегментациялаудың әртүрлі әдістерінің жарамдылығын талқылаған болатын [11]. Таңбаларды көшіру немесе транслитерация арқылы, композициялық аударма арқылы, сондай-ақ фонологиялық және морфологиялық өзгерістер арқылы аудару әдістерін талдап, нәтижесінде кері аударма әдісі мен сөзбе-сөз аударма әдісін таңдаған болатын. Сөзбе-сөз аударма ұғымын көптеген ғалымдар, атап айтқанда кенестік аудармашы К.И. Чуковский бірнеше рет сынға алғанына қарамастан, “сөзбе-сөз аударма түпнұсқа мәтіннен ең алыс барлық аудармалардың ішіндегі ең алдамшы болып табылады. Аудармашыға сөзбе-сөз емес аудару үшін бай сөздік қажет” деген болатын. Бірақ көп жағдайда А.М. Финкель пікірі дұрыс болып табылады, сөзбе-сөз, дәл аударма тек қолайлы ғана емес, сонымен қатар қажет деп саналады. Көп жағдайда аударылған құжат аударманың сәйкестік деңгтерминдер мәндер мен сөз тіркестерінің қателерін анықтауға қызмет етеді.

Талқылаулар

Неліктен кері аударма әдісін қолдану керек?

Мәтін немесе термин аударылған кезде, мазмұн бұрынғысынша түпнұсқа көзді білдіреді және кері аударма қажет болмауы керек, себебі тіл бастапқы хабарламадан тым алыс ауытқымауы керек. Ал керісінше жағдай болғанда, мәтін немесе термин аудармасы мазмұнды толық ашпағн жағдайда, мүлдем мағынасы сақталмаған жағдайда кері аударма әдісі керек [12].

Сапаны қамтамасыз ету әдісі ретінде кері аударма жиі қолданылады. Кері аударма процесі келесідей көрінеді:

1. Аудармашы бастапқы мәтінді жаңа тілге аударды.

2. Содан кейін аудармашы аударманың мағынасын жеткізу үшін локализацияланған жолды түпнұсқа тілге қайта аударды.

3. Пайдаланушы түпнұсқа мазмұнның мәні мен мағынасын жақсы көрсететін опцияны таңдайды.

Кері аударма қалай жұмыс істейді?

Пайдаланушы мақсатты тілді алып, оны қазақ тіліне аударды. Кері аударма әдісі арқылы пайдаланушы алдымен ағылшын немесе орыс тілінде жаңа қазақша мазмұны бар сөйлем жасайды, содан кейін бастапқы сөйлем негізінде қазақ тіліне жақсы аударма жасайды. Жоғарыда аталған әдістерді талдай келе талқылаулар мен нәтижелер негізінде, тура және кері аударма әдістерін қоладанатын IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігі жасалынды. Электрондық сөздіктер – бұл технологияның дамуымен тікелей байланысты, көптеген артықшылықтарға ие, қолдануға ыңғайлы және көп функциялы дәстүрлі сөздіктердің электрондық нұсқалары.

Электрондық сөздікті қолдану кезінде пайдаланушылар:

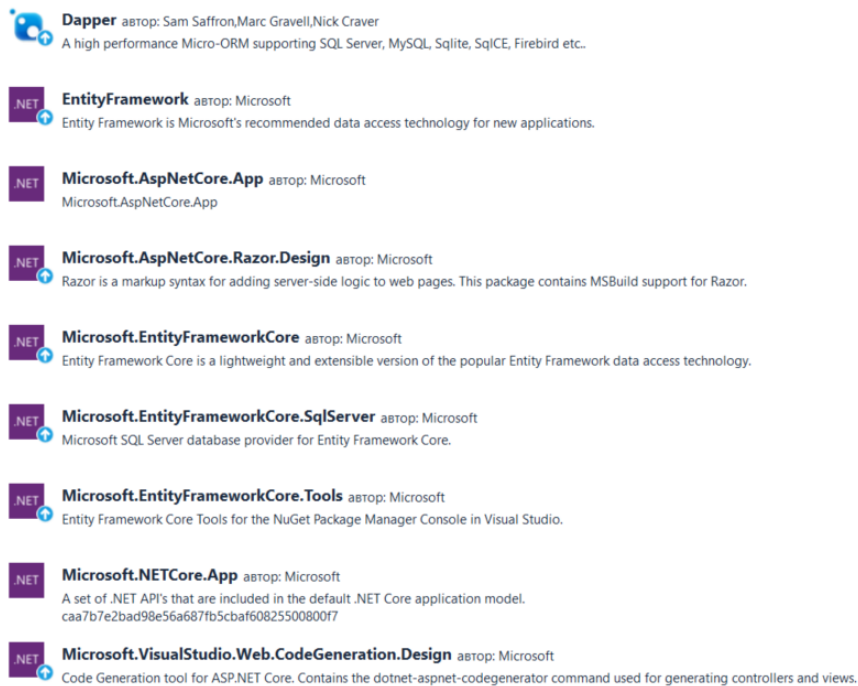
- IT терминдері мен сөз тіркестерінің тәржімесі тура аудару мен кері аудару әдістері арқылы жүзеге асырылған, IT терминдері мен сөз тіркестерінің 3 тілдегі нұсқасына;

- бұрыннан белгілі болған деректерді толықтырады, өзгертеді, жаңа терминдер қосады.

Осы жұмыстарды автоматтандыру мақсатында “IT.KZ” программасы жасалады. Программаны жасау үшін C# ASP.NET Core веб-қосымшасы, сонымен қатар SQL Server, JavaScript, HTML, CSS

қолданылды. Microsoft SQL Server-де реляциялық деректер қоры құрылған, ол жерден деректер оқылып, толықтырылып, өзгертіліп, өшіріліп отырады.

Программаны жасау үшін Visual Studio платформасының C# ASP.NET Core веб-приложениясын пайдаланылды және фреймворк модульділігінің арқасында веб-қосымшаның барлық қажетті компоненттері Nuget пакеттік менеджері арқылы жеке модульдер ретінде жүктелді, ондағы қолданылған және жүктеген Nuget пакеттері (сурет 2).



Сурет 2. Программда қолданылған Entity Framework NuGet пакеттері

ASP.NET Core .NET Core платформалық ортасында жұмыс істей алады және оны негізгі танымал операциялық жүйелерде қолдануға болады: Windows, Mac OS, Linux операциялық жүйелері. Осылайша, ASP.NET Core көмегімен IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігі болып табылатын платформалық қосымша жасалынды. ASP.NET Core MVC, Web API және Web Pages функционалдығын біріктіретін MVC шеңберін қамтиды. MVC үлгісі тұжырымдамасы қосымшаны үш компонентке бөлуді қамтиды. Ол компоненттер 2-кестеде берілген және сипатталған:

Кесте 2. MVC компоненттері және сипаттамалары

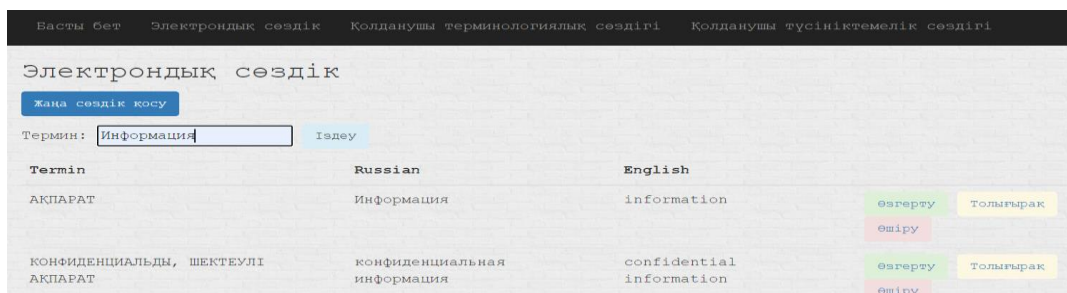
| | |
|------------|--|
| Модель | Қосымшада пайдаланылатын деректерді, сондай-ақ деректермен тікелей байланысты логиканы, мысалы, деректерді тексеру логикасын сипаттайды. |
| Көрініс | Көрнекі бөлікке немесе пайдаланушы интерфейсіне жауап береді, көбінесе қолданушы қосымшамен өзара әрекеттесетін html беті. |
| Контроллер | Пайдаланушы мен қосымша, көрініс және деректер қоймасы арасындағы байланысты қамтамасыз ететін орталық MVC компонентін білдіреді. |

Мысалы, программда модельдерді сақтауға арналған қалта бар, ол Models қалтасы болып табылады. Models қалтасына деректер логикасын сипаттайтын Word класы қойылды (сурет 3).

```
public class Word
{
    //деректер логикасын сипаттайтын модель
    //термин идентификаторы
    public int Id { get; set; }
    //термин қазақша нұсқасы
    public string Termin { get; set; }
    //термин орысша нұсқасы
    public string Russian { get; set; }
    //термин ағылшынша нұсқасы
    public string English { get; set; }
}
```

Сурет 3. Word класының программалық коды

MVC үлгісі тұжырымдамасының көрініс компонентіне сәйкес “IT.KZ” электрондық сөздігінің интерфейсі жасалынды. Сурет 4-те программа интерфейсі берілген.



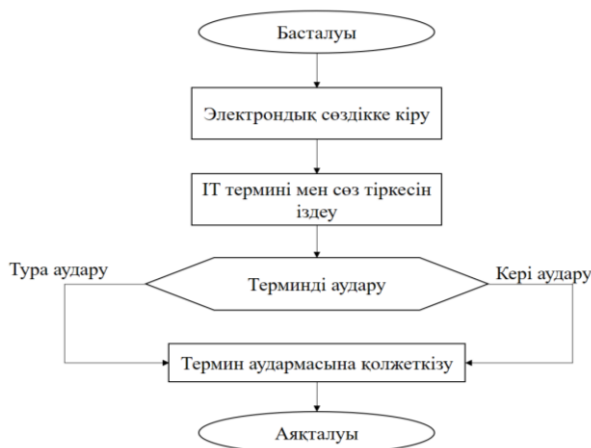
Сурет 4. IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінің интерфейсі

Мысалы, “Конфиденциальная информация” сөзінің қазақ тіліндегі аудармасына қол жеткізу үшін екі тәсіл пайдаланылды: тура аудару және кері аудару тәсілі. Нәтижесінде тура аудару негізінде аударма: “Конфиденциальды ақпарат” болса, кері аудару негізінде: “Шектеулі ақпарат” болып табылады [13]. Екі тәсіл негізінде аударылған терминологиялық сөз тіркесі дұрыс және мағынасы сақталған болып табылады.

Программа жасалыну ерекшеліктері:

- көптеген электрондық сөздіктер сияқты форма түрінде емес, кесте түрінде жасалған;
- тіл таңдау қажеттілігі туындамайды, программа автоматты түрде тілді өзі анықтайды;
- электрондық көптеген сөздіктер секілді іздеу функциясы бар және бұл функция орындалғанда терминді аудару әдісін программа өзі таңдайды немесе екі әдіспен де аудармасын шығарып береді.
- егер енгізілген термин орфографиялық тұрғыдан дұрыс және деректер қорында бар болса, онда термин аударылады.

“IT.KZ” электрондық сөздігінің орындалу алгоритмі төмендегі сурет 5-те берілген.



Сурет 5. IT терминдері мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінің алгоритмі

Алгоритмге сәйкес терминді аудару әдістері таңдалынған, программалық код негізінде Деректер қойындысының TranslatorContext класында деректер қорымен модельдік қатынастарды орнату және аудару әдісін таңдау коды (сурет 6) берілген:

```
public class TranslatorContext : DbContext //деректер контексті
{
    public TranslatorContext (DbContextOptions<TranslatorContext> options)
        : base(options) //модельдік қатынастарды орнату және аудару әдісін таңдау
    {
    }
    public DbSet<Word> Word { get; set; } //мұнда Word дерекқорда сақталған объектінің
    //түрі
}
```

Сурет 6. TranslatorContext класының программалық коды

IT терминдері мен сөз тіркестерін іздеудің программалық коды сурет 7-де берілген. Мұнда термин кез келген тілде (қазақ, орыс, ағылшын) енгізіледі және оны аудару мақсатында деректер қорына сұрау жасалады және тәржімесі мен мағынасы нақты аудару әдісі таңдалады.

```
<p>
    Термин: <input type="text" name="SearchString" />
    <input class="btn bg-info" type="submit" value="Іздеу"/>
</p>
</form>

<table class="table">
    <!--Термин аудармасын шығару-->
    <thead>
        <tr>
            <th>
                @Html.DisplayNameFor(model => model.Termin)
            </th>
            <th>
                @Html.DisplayNameFor(model => model.Russian)
            </th>
            <th>
                @Html.DisplayNameFor(model => model.English)
            </th>
        </tr>
    </thead>
    <tbody>
        @foreach (var item in Model) {
            <tr>
                <td>
                    @Html.DisplayFor(modelItem => item.Termin)
                </td>
                <td>
                    @Html.DisplayFor(modelItem => item.Russian)
                </td>
                <td>
                    @Html.DisplayFor(modelItem => item.English)
                </td>
            </tr>
        }
    </tbody>
</table>
```

Сурет 7. IT терминдері мен сөз тіркестерін іздеудің программалық коды

Қорытынды

Қазақ тіліне ақпараттық технологиялар терминдері мен сөз тіркестерін алу, аудару негізінен ағылшын және орыс тілдері арқылы жүргізіледі, ол ұлтаралық қатынас функциясын орындайды. Алайда, аударуға деген сыни көзқарасы бар немесе аударуға мүлдем келмейтін терминдер де бар. Оларды «өз» атауларымен атау өте маңызды, яғни тікелей аударма әдісін қолдану маңызды, себебі бұл терминдер мен сөз тіркестерінің мағынасының жоғалуына алып келеді. IT терминдері мен сөз тіркестерін қазақ тіліне аударғанда, түсініктемесін бергенде кері аударманы қолдану терминдер мен сөз тіркестерінің мағынасының сақталып, түрлі тәржімелерін алуға мүмкіндік береді. Себебі, түпнұсқа мен аударма мәтіндерін салыстыру арқылы сөз тіркестері мен түсініктеме мағынасы сақталып қалады. Машиналық аударуды толықтай адамның қатысуынсыз және аударманың нақтылығы мен мағыналығын сақтай отырып жүзеге асыру мақсатында тура, жанама, кері аударма әдістеріне шолу жасалған.

Ақпараттық технологиялар ғылымындағы терминдер мен сөз тіркестерінің электрондық сөздігінде қолдануға ыңғайлы 2 негізгі әдіс таңдалды: тура аударма (кірме сөздер мен сөзбе-сөз аударма) және кері аударма әдістері.

Нәтижесінде, осы әдістерді қолдану арқылы “IT.KZ” электрондық сөздігі құрылып, электрондық сөздікте терминдер мен сөз тіркестерінің саны 20 мың - нан астам. Электрондық сөздікті тестілеуден өткізу барысында 12 мың – ға жуық термин мен сөз тіркесі аударылып, тексерілді. Осы ақпараттық технологияларға қатысты терминдер мен сөз тіркестеріне оңай қол жеткізуге арналған электрондық сөздік жасалынып, сөздер аудармасы тура және кері аударма әдістері арқылы тәржімаланды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Құрманбайұлы Ш., Жұмағұлов С., Құбашева Г.М., Кәрімов С.Н., Жайлауова С.К. Ұлттық терминқорды жүйелеудің теориялық және ғылыми-тәжірибелік негіздері. – Астана. – 2017. - С. 217
- 2 Бисенғали А.З. Процесс терминообразования в казахском и турецком языках. – Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2017, с. 96 – 99
- 3 Turganbayeva, A., Tukeyev, U. The solution of the problem of unknown words under neural machine translation of the Kazakh language. // *Journal of Information and Telecommunication*. 2021. с. 214-216. <https://doi.org/10.1080/24751839.2020.1838713>
- 4 Гарипова А.А. Структурно-семантические особенности терминологии интернета татарского языка. – Елабуга, Россия: Елабужский институт Казанского федерального университета, 2020, с. 88-90
- 5 Ефремова Л. С., Лашкова Г. В. Структурные особенности терминов сферы IT, содержащие имена собственные (на материале английских терминологических словарей). – Саратов: Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 2017, с.274
- 6 Rakhimova, D.R., Turganbaeva, A.O. Normalization of Kazakh language words. // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020. с. 545-546. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-4-545-551>
- 7 Осипова Л. А. Стратегии передачи типологических характеристик текстов в сфере IT при переводе с английского языка на русский. – Алматы: Евразийский Союз Ученых, 2019, с. 13-15
- 8 Зорина Д.В., Тимохов В.В., Бурматова К.А., Янковская Н.С., Проноза Е.В. IT термины и профессиональный сленг в современных сообществах социальных сетей. – Москва, Россия: Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 2018, с. 229-230
- 9 Шумайлова М. С. Структурная ассимиляция английских заимствованных терминов (на материале немецкой терминологии интернета). – Алматы: Евразийский Союз Ученых, 2017, с. 166-170
- 10 Саметова Ф.Т. Лексические инновации в современном казахском языке. – Алматы: Евразийский Союз Ученых, 2017, с. 67-69
- 11 Sennrich R., Haddow B., Birch A. Neural Machine Translation of Rare Words with Subword Units. In *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. – Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics, 2016, с.1715–1725
- 12 Caswell I., Chelba C., Grangier D. Tagged Back-Translation. In *Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation*. – Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, с. 53–63.
- 13 Tacorda, A.J., Ignacio, M.J., Oco, N., Roxas, R.E.: Controlling byte pair encoding for neural machine translation. In: 2017 International Conference on Asian Language Processing. 2017, с. 168–171. <https://doi.org/10.1109/IALP.2017.8300571>

References:

- 1 Kurmanbayevich SH., Zhumagulov S., Kubasheva G.M., Karimov S.N., Zhaylauova S.K.. (2017) Ultytyk terminqordy zhuieleudin teoriyalyk zhane gylymi-tazhiribelik negizderi [Fundamentals of the national thermonuclear theory of Zhane-tazhiribinin theory of Zhane-tazhiribinin]. Astana. 217. (In Kazakh)
- 2 Bisengali A.Z. (2017) Process terminoobrazovaniya v kazahskom i tureckom jazykah [The process of term formation in the Kazakh and Turkish languages]. Almaty: Kazahskij nacional'nyj universitet im. al'-Farabi. 96–99. (In Russian)
- 3 Turganbayeva, A., Tukeyev, U. The solution of the problem of unknown words under neural machine translation of the Kazakh language. // *Journal of Information and Telecommunication*. 2021. pp. 214-216. <https://doi.org/10.1080/24751839.2020.1838713>
- 4 Garipova A.A. (2020) Strukturno-semanticheskiye osobennosti terminologii interneta tatarskogo yazyka [Structural and semantic features of the Internet terminology of the Tatar language]. Yelabuga, Rossiya: Yelabuzhskiy institut Kazanskogo federal'nogo universiteta. 88-90. (In Russian)
- 5 Yefremova L. S., Lashkova G. V. (2017) Strukturnyye osobennosti terminov sfery IT, sodержashchiye imena sobstvennyye (na materiale angliyskikh terminologicheskikh slovarey) [Structural features of IT terms containing proper names (based on the material of English terminological dictionaries)]. Saratov: Saratovskiy natsional'nyy issledovatel'skiy gosudarstvennyy universitet imeni N. G. Chernyshevskogo. 274. (In Russian)
- 14 Rakhimova, D.R., Turganbaeva, A.O. Normalization of kazakh language words. // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020. pp. 545-546. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-4-545-551>

6 Osipova L. A. (2019) *Strategii peredachi tipologicheskikh kharakteristik tekstov v sfere IT pri perevode s angliyskogo yazyka na russkiy* [Strategies for the transfer of typological characteristics of texts in the IT field when translating from English into Russian]. Almaty: // *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh*. 13-15. (In Russian)

7 Zorina D.V., Timokhov V.V., Burmatova K.A., Yankovskaya N.S., Pronoza E.V. (2018) *IT terminy i professional'nyy sleng v sovremennykh soobshchestvakh sotsial'nykh setey* [IT terms and professional slang in modern social media communities]. Moskva, Rossiya: *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh*. 229-230. (In Russian)

8 Shumaylova M. S. (2017) *Strukturnaya assilyatsiya angliyskikh zaimstvovannykh terminov (na materiale nemetskoy terminologii interneta)* [Structural assimilation of English borrowed terms (based on the German terminology of the Internet)]. Almaty: // *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh*. 166-170. (In Russian)

9 Sametova F.T. (2017) *Leksicheskiye innovatsii v sovremennom kazakhskom yazyke* [Lexical innovations in the modern Kazakh language]. Almaty: // *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh*. 67-69. (In Russian)

10 Sennrich R., Haddow B., Birch A. *Neural (2016) Machine Translation of Rare Words with Subword Units. In Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. – Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics. 1715–1725.

11 Caswell I., Chelba C., Grangier D. (2019) *Tagged Back-Translation. In Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation*. – Florence, Italy: Association for Computational Linguistics. 2019. 53–63.

12 Tacorda, A.J., Ignacio, M.J., Oco, N., Roxas, R.E. (2017) *Controlling byte pair encoding for neural machine translation. In: 2017 International Conference on Asian Language Processing*. 168–171. <https://doi.org/10.1109/IALP.2017.8300571>

М.К. Сериков¹, Л.М. Алимжанова¹, Д.Н. Исабаева², А. Зор³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

³Университет Акдениз, г. Анталья, Турция

*e-mail: 7014547793@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СОЦИАЛЬНОМ МЕДИА МАРКЕТИНГЕ

Аннотация

За последние 10 лет объем рынка электронной торговли в Казахстане вырос в 20 раз. Целью этого исследования является узнать ситуацию рынка социальной сети в Казахстане, а также использование больших данных в маркетинге. В статье проведен анализ прямого маркетинга с использованием больших данных в сочетании с маркетинговыми стратегиями компании. Кроме того, исследование затрагивает инструменты используемых для узнаваемости бренда в социальных сетях, благодаря которым можно эффективно продвигать бренд компании в интернет-маркетинге. Результаты обработки больших данных дают нам возможность понять компаниям как извлекать выгоду, обрабатывая и анализируя поступающие в реальном времени данные, кроме того корректируя используемые методы, чтобы иметь возможность предоставлять клиентам востребованную продукцию компании.

Ключевые слова: электронная торговля, интернет-маркетинг, социальные сети, социальный медиа маркетинг, инструменты SMM, цифровой-маркетинг.

Аңдатпа

М.К. Сериков¹, Л.М. Алимжанова¹, Д.Н. Исабаева², А. Зор³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Акдениз Университеті, Анталья қ., Түркия

ӘЛЕУМЕТТІК МЕДИА МАРКЕТИНГТЕ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ

Соңғы 10 жыл ішінде Қазақстандағы электрондық сауда нарығының көлемі 20 есеге өсті. Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы әлеуметтік желі нарығының жағдайын, сонымен қатар маркетингте үлкен деректерді пайдалануды білу. Мақалада компанияның маркетингтік стратегияларымен бірге тікелей маркетинг үлкен деректерді пайдалану арқылы талданады.

Сонымен қатар, осы зерттеуде әлеуметтік желілерде брендті танымал ету үшін қолданылатын құралдарды жайлы болмақ, олардың көмегімен компанияның брендін интернет-маркетингте тиімді танымал етуге болады. Үлкен деректерді өңдеу нәтижелері компанияларға қолма-қол деректерді өңдеу және талдау арқылы қалай пайда табуға болатындығын, қолданылатын әдістерді түзету арқылы тұтынушыларға компанияның сұранысқа ие өнімдерін ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: электрондық коммерция, интернет-маркетинг, әлеуметтік желілер, әлеуметтік медиа маркетингі, SMM құралдары, цифрлық-маркетинг.

Abstract

USING BIG DATA IN SOCIAL MEDIA MARKETING

Serikov M.¹, Alimzhanova L.¹, Isabaeva D.², Zor A.³

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Turkey

Over the past 10 years, the volume of the e-commerce market in Kazakhstan has grown 20 times. The purpose of this study is to know the situation of the social network market in Kazakhstan, as well as the use of big data in marketing. The article analyzes direct marketing using big data in combination with the company's marketing strategies. In addition, the study touches on the tools used to promote the brand in social networks, with which you can effectively promote the company's brand in Internet marketing. The results of big data processing give us the opportunity to understand how companies can benefit by processing and analyzing incoming data in real time, in addition, adjusting the methods used to be able to provide customers with the company's products in demand.

Keywords: e-commerce, internet marketing, social networks, social media marketing, SMM tools, digital-marketing

Введение

В последние годы социальные сети изменили повседневную жизнь миллиардов людей по всему миру. Благодаря таким социальным сетям VK, Facebook, Instagram, Twitter, Telegram, WhatsApp, люди могут участвовать в международном диалоге и расширять свои возможности, чтобы выражать и делиться своими идеями, вести бизнес или просто оставаться в курсе событий в мире, перегруженном информацией [1]. Несмотря на некоторую критику в отношении отсутствия конфиденциальности, напрасной траты времени или распространения усиленного невежества в интернет-пространстве, которые трудно контролировать, социальные сети продолжают расти и развиваться. Казахстанское пространство социальных сетей не является исключением. С момента своего появления социальные сети привлекли миллионы пользователей, и люди в Казахстане являются членами некоторых местных и мировых сетей. Таким образом, в определенных областях человеческой деятельности формируются целевая аудитория. На сегодняшний день люди используют Интернет больше, чем когда-либо прежде, и когда потребители хотят найти информацию о товаре или услуге, они прибегают к помощи поисковых систем и социальных сетей. Компании, которые не занимаются маркетингом в Интернете, им очень трудно будет стимулировать продажи или развивать свой бренд [2]. В данной статье проведен анализ с применением инструмента SMM, благодаря которому получили подробные сведения и ценную информацию, а также выявили определённые закономерности. Маркетинг в социальных сетях – это один из технологий Internet-маркетинга, с помощью которого можно продвигать или рекламировать бренд компании в имеющихся социальных сетях: VK, Facebook, Instagram, Twitter, Telegram, WhatsApp и других [3]. Продвижение бренда (товары, услуги) в социальных сетях - это часть интернет-маркетинга, а также является методом коммуникации с целевой аудиторией, работы с лояльностью и вовлечения аудитории.

С помощью SMM-продвижения мы можем повысить узнаваемость товаров и услуг, находится в коммуникации с потребителями в режиме реального времени через социальные сети, а также заинтересовать потребителей к бренду компании. Основными методами SMM является постоянное заполнение контента в социальных сетях, ведение рекламного контента, поддержка аудиторий, коллаборация с блогерами, создание необходимого имиджа для бренда [4]. В результате чего бренд набирает свою первую аудиторию, первых клиентов. Основной задачей SMM продвижения бренда в социальных сетях является укрепление лояльности пользователей вокруг бренда. Данная задача в итоге приводит к росту числа клиентов и к повторным продажам на длительном промежутке времени.

Методология исследования

На сегодняшний день люди используют Интернет больше, чем когда-либо прежде, и когда потребители хотят найти информацию о товаре или услуге, они прибегают к помощи поисковых систем и социальных сетей. Компании, которые не занимаются маркетингом в Интернете, им очень трудно будет стимулировать продажи или развивать свой бренд. Казахстан занимает лидирующее положение в Центральной Азии и СНГ по уровню охвата Интернетом населения страны. В качестве новой области, вызывающей озабоченность развивающихся стран, таких как Казахстан, исследования новых медиа в основном включают две категории: история развития Интернета и новых медиа, включая социальные сети, и роль социальных сетей в казахстанском обществе. Далее приведена интернет-статистика по состоянию на январь 2022, статистика мобильных устройств и статистика социальных сетей для Казахстана. Общая численность населения Казахстана по состоянию на январь месяц 2022 года приведена в соответствии с рисунком 1, согласно которому в Казахстане проживает 19,10 миллиона человек, из которых доля пользователей социальных сетей по сравнению с прошлым годом выросли на 8,8%, и составила 72,3%, что эквивалентно 13,80 млн. человек, а доля пользователей интернета составляет 16,41 млн. человек. Важно отметить, что пользователи социальных сетей могут не представлять собой уникальных лиц [5]. По данным GSMA Intelligence, в январе 2022 года мобильная связь в Казахстане составляла 127,9 процента от общей численности населения, что составляет 24,42 миллиона подключений к сотовой мобильной связи [6]. Однако стоит обратить внимание, что многие люди во всем мире используют более одного мобильного соединения - например, у них может быть одно соединение для личного использования, а другое - для работы, поэтому цифры по мобильному соединению нередко значительно превышают всего населения. Количество мобильных подключений в Казахстане увеличилось на 133 тысячи (+0,5 процента) в период с 2021 по 2022 год.



Рисунок 1. Основные цифровые показатели в Казахстане

Пользователь интернета в средне-статическом является человек в возрасте 23-35 лет, работающий в малом/среднем бизнесе или государственном секторе и имеющий выход к Интернету через компьютер, а также имеющий доступ и к мобильному интернету. Следует заметить, что проблемы, связанные с COVID-19, продолжают влиять на исследования в области внедрения Интернета, поэтому фактические цифры пользователей Интернета могут быть выше, чем приведенные цифры.

По данным DataReportal [5] по состоянию на январь 2022 года в Казахстане среди социальных сетей лидирует Youtube (12 млн. пользователей), Instagram (11,75 млн. пользователей), TikTok (7.26 млн. пользователей), VK (7,20 млн. пользователей), Facebook (2,30 млн. пользователей), Snapchat (1.45 млн. пользователей), LinkedIn (1.10 млн. пользователей), Twitter (0,20 млн. пользователей), которые приведены в соответствии с рисунком 2.

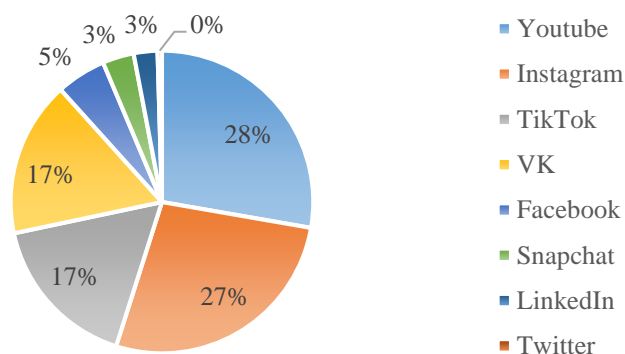


Рисунок 2. Количество пользователей социальных сетей в Казахстане (в млн. человек).

А наиболее популярными социальными сетями у молодежи в Казахстане являются: VK, Instagram, и Youtube, которые приведены в соответствии с рисунком 3.

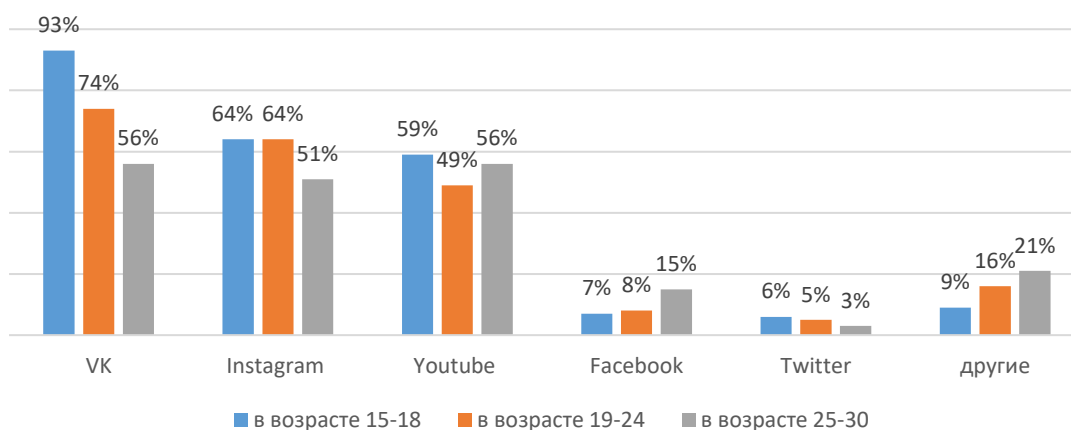


Рисунок 3. Популярные социальные сети у молодежи

Основные моменты:

- По прогнозам, расходы на рекламу в сегменте рекламы в социальных сетях достигнут 54 млрд. тенге в 2022 году.
- Ожидается, что расходы на рекламу будут демонстрировать годовой темп роста на уровне 10,49%, в результате чего к 2026 году прогнозируемый объем рынка составит 80 млрд. тенге.
- В сегменте рекламы в социальных сетях в 2026 году общие рекламные расходы в размере \$130,60 млн. будут получены за счет мобильных устройств.
- Ожидается, что к 2026 году в сегменте рекламы в социальных сетях число пользователей составит 16,2 млн пользователей.
- Рыночная доля Meta Platforms (Facebook, WhatsApp, Instagram) оценивается в 90% сегмента рекламы в социальных сетях Казахстана в 2021 году.

Реклама в социальных сетях включает весь доход от рекламы, полученный от социальных сетей или бизнес-сетей, таких как Facebook, Twitter, Instagram или LinkedIn. Объявления в социальных сетях могут отображаться как рекламные посты в органическом контенте или помимо ленты новостей.

Расходы на рекламу в социальных сетях через ПК и мобильные устройства, не включая рекламу в онлайн-играх, а также доходы, полученные от членских подписок или премиальных взносов приведены в соответствии с рисунком 4.

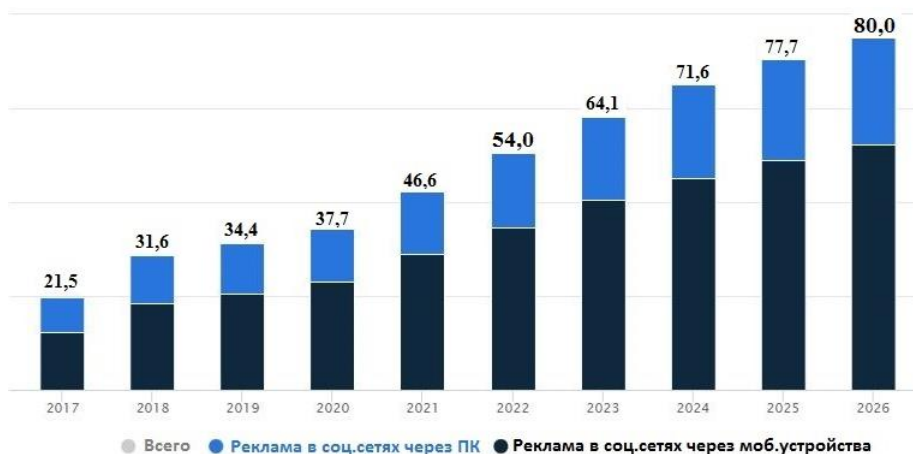


Рисунок 4. Расходы на рекламу (в млрд. тенге)

По мнению аналитиков, немецкой компаний Statista [6], специализирующейся на рыночных и потребительских данных, одним из основных трендов рекламы в социальных сетях является дальнейшая монетизация социальных сетей и мессенджеров. Интеграция торговых и платежных решений в социальные сети в сочетании с точной локализацией повысит вовлеченность пользователей, конверсию и эффективность расширенного таргетинга.

Социальные сети в последнее время приобрели огромную известность как высокоэффективный канал коммуникации в наше современное время цифровой жизни. Он был поставлен на пьедестал в различных потоках для облегчения совместного взаимодействия между предприятиями, группами, обществами, организациями, потребителями, сообществами, форумами и т.п. Средние расходы на рекламу на пользователя Интернета показаны в соответствии с рисунком 5 (в тенге).

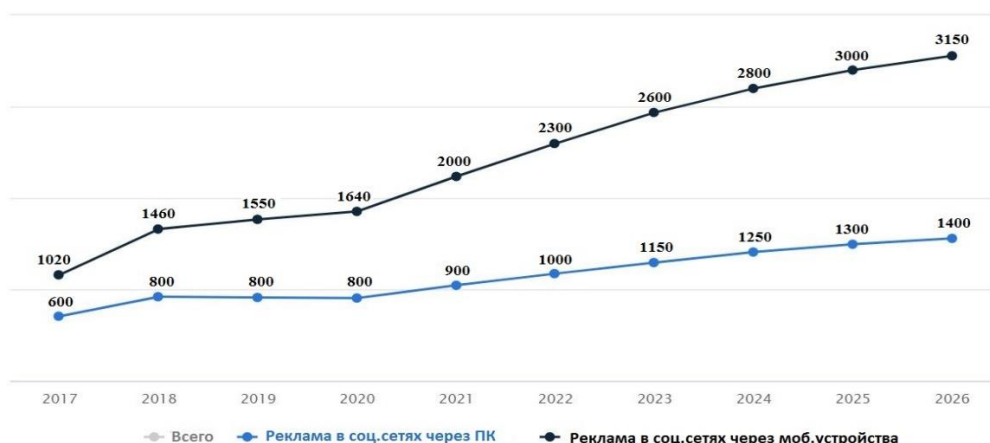


Рисунок 5. Средние расходы на рекламу на пользователя Интернет

Помимо потенциала роста рекламы в социальных сетях, интеграция или распространение рекламных площадок наблюдается в приложениях для обмена сообщениями, таких как WhatsApp и Telegram, быстро увеличивая потенциальный доход текущих ключевых игроков рынка, таких как Meta, VK и другие. Охват аудитории рекламы через социальные сети (в млн. человек) приведен в соответствии с рисунком 6.

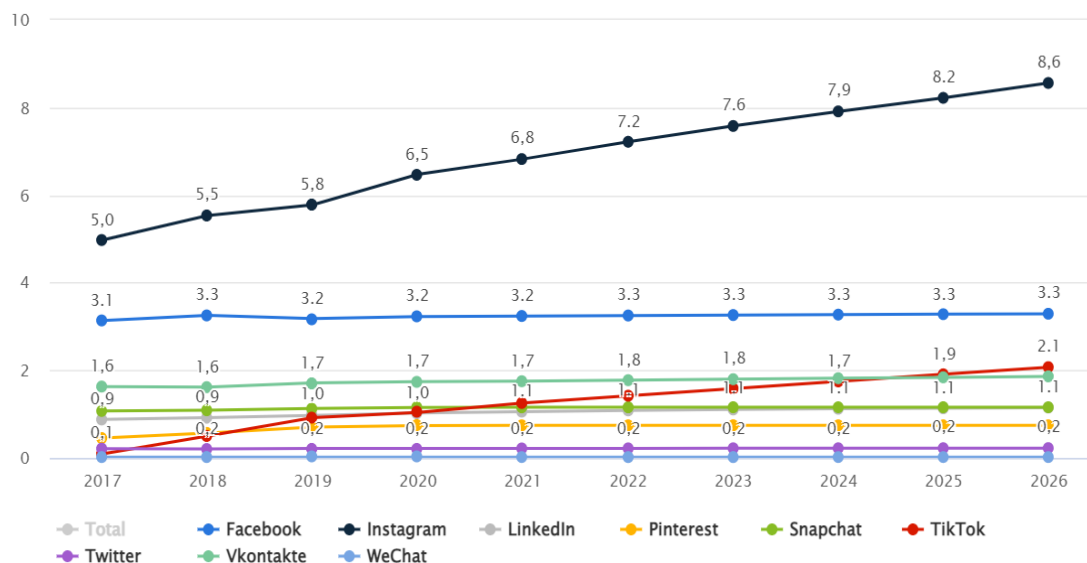


Рисунок 6. Охват аудитории через социальные сети

Инструменты маркетинга в социальных сетях

SMM – это комплекс мероприятий по продвижению бизнеса через социальные сети. Правильные инструменты маркетинга в социальных сетях имеют большое значение. И без правильных инструментов маркетинга в социальных сетях имеющая стратегия может потерпеть неудачу, поэтому хороший маркетинг в социальных сетях может изменить успех продвижение бренда. Но без арсенала конкретных мощных инструментов, соответствующих целям организации, вы не сможете создавать ценный контент или делиться им, привлекать новую аудиторию или стимулировать значимое взаимодействие.

Основной задачей SMM продвижения бренда в социальных сетях является укрепление лояльности пользователей вокруг бренда [7]. Данная задача в итоге приводит к росту числа клиентов и к повторным продажам на длительном промежутке времени.

Ниже приведены современные инструменты SMM:

Инструменты планирования в социальных сетях - упрощают планирование и отслеживание каждого социального сообщения, во всех индивидуальных профилях социальных сетей [8].

Инструменты аналитики в социальных сетях – помогают отслеживать эффективность всех социальных сетей и профилей в одном месте, отслеживать эффективность социальных кампаний, отмечая их и создавая отчеты по ним, какие сообщения больше всего находят отклик у аудитории, чтобы определить стратегию публикации в социальных сетях, отслеживать конкурентов, чтобы увидеть, насколько их вовлеченность и рост соответствуют вашим собственным, отслеживать, насколько быстро и эффективно отвечаете на сообщения, требующие ответа, узнать, кто из членов команды наиболее эффективно, интересно публикует контент.

Инструменты взаимодействия в социальных сетях - это основа узнаваемости, оперативности и эффективности бренда компании. Каждое регулярное взаимодействие компании с клиентами в социальных сетях могут укреплять их лояльность.

Инструменты прослушивания социальных сетей - позволяют анализировать и предоставлять ответы на информацию, собранные с помощью социального мониторинга, используя более продвинутые функции [9].

Инструменты мониторинга социальных сетей - помогают определить «что» и «почему» надо прослушивать. Это можно описать как о поиске и сборе данных из социальных разговоров, которые помогут лучше понять свою аудиторию и улучшить взаимодействие с ней.

Инструменты автоматизации социальных сетей - автоматизация маркетинга заключается не в том, чтобы слишком сильно полагаться на автоматизированные инструменты, а в том, чтобы определить повторяющиеся задачи, которые можно автоматизировать без ущерба для пользовательского опыта. Это освободит человека, чтобы решить более сложные или деликатные задачи [10].

Вместе эти инструменты помогут соответствовать более высоким стандартам клиентов и улучшить общее состояние бренда.

Большие данные в маркетинге

Понятие Big Data означает очень большой объем данных. Эта концепция также определяется как объемы данных, выходящие за рамки возможностей технологии для эффективного хранения, управления и обработки [11].

Big Data вводят новые каналы получения информации от клиентов и рынков, анализа и использования ее в формах и масштабах, которые ранее были невозможны. Эти каналы создают множество проблем для использования и эволюции больших данных, такие как извлечение последовательных идей и знаний. Последние должны быть преобразованы в модели, связанные с деятельностью компании. Кроме того, Big Data ставят новые задачи перед традиционным способом обработки данных с использованием реляционных баз данных. Поэтому архитектурные решения должны быть изменены путем включения веб-поддержки для сбора, фильтрации, кластеризации и анализа избытка данных.

Использование Big data в сочетании с маркетинговыми стратегиями окажут значительное влияние на деятельность компании с помощью анализа больших данных. Это позволяет компаниям с высокой вероятностью прогнозировать тенденции, а также позволяет им оттачивать стратегически ориентированный цифровой маркетинг [12].

Цель любого аналитического решения Big data – предоставить организации полезную информацию для принятия более разумных решений и улучшения бизнес-результатов. Однако различные типы аналитики предоставляют различные типы информации.

Аналитические решения бывают трех основных типов [13]:

- Описательный, который использует бизнес-аналитику и интеллектуальный анализ данных, чтобы спросить: “Что произошло?” Описательная аналитика собирает данные для предоставления актуальной информации о прошлых и текущих событиях.

- Прогностический, который использует статистические модели и прогнозы, чтобы спросить: “Что может произойти?” Прогнозная аналитика дает ответы, которые выходят за рамки использования имеющихся данных в качестве основы для принятия решений, что в свою очередь помогает менеджерам предвидеть вероятные сценарии, чтобы они могли планировать заранее, а не реагировать на факты, которые уже произошли.

- Предписывающий, который использует оптимизацию и моделирование, чтобы спросить: “Что мы должны делать?” Предписывающая аналитика исследует набор возможных действий и предлагает действия, основанные на описательном и прогнозном анализе сложных данных.

Все вышеперечисленные три типа строятся друг на друге, причем описательная аналитика является наиболее часто используемой, а предписывающая - наиболее продвинутой. Данные типы помогают при продвижении цифрового маркетинга. В результате маркетологи могут получить выгоду от анализа, а именно:

- Вовлечение клиентов. Big data дает возможность значительно расширить базу знания о клиенте. Главная задача состоит в том, чтобы выяснить, кто из них является клиентами, покупающими продукт, и кто может быть потенциальным клиентом. В настоящее время можно получить доступ к информации, где содержатся информации о местонахождении, вкусах или предпочтениях клиентов в хронологическом порядке.

- Удержание и лояльность клиентов. Big data также пригодится, когда отношения с клиентами уже установлены. Чем больше взаимодействия с клиентами компания имеет, чем больше информации он может собрать и, тем лучше он может понять, что влияет на решения клиентов.

- Оптимизация маркетинга и производительность. Непрерывные тестирования и анализы могут помочь не только сократить затраты на маркетинговые операции, но и балансировать затраты между каналами, что приводит к оптимизации маркетинговых программ.

- Компании могут узнать, что написано о них, о их продуктах, об их рынке, также об их конкурентах. Исследование репутации или мнений может быть проведено путем анализа отзывов в интернете и бесед в социальных сетях.

Ниже приведен набор данных из открытого источника по применению прямого маркетинга по отношению к клиентам банковского учреждения. При обработке данных требуется частое взаимодействие с одним и тем же клиентом, чтобы узнать, будет ли продукт (срочный банковский депозит) подписан («да») или нет («нет») [14].

Цель используемой классификации – спрогнозировать, подпишется ли потребитель на срочный депозит.

Набор данных будут отработаны в облачном сервисе Google Colaboratory, где сразу можно увидеть результаты выполнения кода, а также другие отдельные фрагменты.

Информация об атрибутах:

Данные клиента банка:

- Возраст (числовой)
- Работа: тип работы (категория: «служащий», «офисный работник», «индивидуальный предприниматель», «домработница», «самозанятый», «пенсионер», «студент», «безработный», «неизвестно»)
- Семейное положение: «разведен», «замужем», «холост», «неизвестно»;
- Образование: «средняя школа», «неграмотный», «профессиональный курс», «университетская степень», «неизвестно»)
- По умолчанию: есть кредит по умолчанию? (категоричные: «нет», «да», «неизвестно»)
- Жилье: есть жилищный кредит? (категоричные: «нет», «да», «неизвестно»)
- Кредит: есть личный кредит? (категоричные: «нет», «да», «неизвестно»)

Другие атрибуты:

- Кампания: количество контактов, выполненных во время этой кампании и для этого клиента (числовое, включая последний контакт)
- Rdays: количество дней, с того момента, когда последний раз контактировали с клиентом.

Выходная переменная (желаемая цель):

- y - подписал ли клиент срочный вклад? (двоичный: «да», «нет»)

Шаги анализа:

- Анализ атрибутивной информации показан в соответствии с рисунком 7.
- Машинное обучение (логистическая регрессия, дерево решений, случайный лес, Байесовский метод).
- Глубокое обучение.

| | ID | Year_Birth | Education | Marital_Status | Income | Kidhome | Teenhome | Dt_Customer | Recency | MntWines | ... |
|------|-------|------------|------------|----------------|---------|---------|----------|-------------|---------|----------|-----|
| 0 | 5524 | 1957 | Graduation | Single | 58138.0 | 0 | 0 | 2012-09-04 | 58 | 635 | ... |
| 1 | 2174 | 1954 | Graduation | Single | 46344.0 | 1 | 1 | 2014-03-08 | 38 | 11 | ... |
| 2 | 4141 | 1965 | Graduation | Together | 71613.0 | 0 | 0 | 2013-08-21 | 26 | 426 | ... |
| 3 | 6182 | 1984 | Graduation | Together | 26646.0 | 1 | 0 | 2014-02-10 | 26 | 11 | ... |
| 4 | 5324 | 1981 | PhD | Married | 58293.0 | 1 | 0 | 2014-01-19 | 94 | 173 | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2235 | 10870 | 1967 | Graduation | Married | 61223.0 | 0 | 1 | 2013-06-13 | 46 | 709 | ... |
| 2236 | 4001 | 1946 | PhD | Together | 64014.0 | 2 | 1 | 2014-06-10 | 56 | 406 | ... |
| 2237 | 7270 | 1981 | Graduation | Divorced | 56981.0 | 0 | 0 | 2014-01-25 | 91 | 908 | ... |
| 2238 | 8235 | 1956 | Master | Together | 69245.0 | 0 | 1 | 2014-01-24 | 8 | 428 | ... |
| 2239 | 9405 | 1954 | PhD | Married | 52869.0 | 1 | 1 | 2012-10-15 | 40 | 84 | ... |

2240 rows × 29 columns

Рисунок 7. Информация об атрибутах

Результаты исследования

Перед началом любого анализа важно понять, какую задачу пытается решить компания или какая информация ей необходима, которые приведены в соответствии рисунками 8-11, 13.

Наличие стратегии выручает компанию по определению в использовании нужного типа анализа и инструмента. Также стратегия компании помогает выявлять, какой способ является более эффективным в представления результатов для руководства, показан в соответствии с рисунком 12.

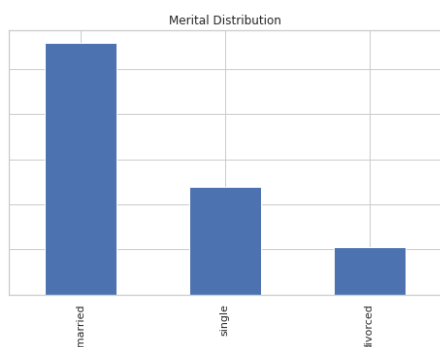


Рисунок 8. Семейное положение

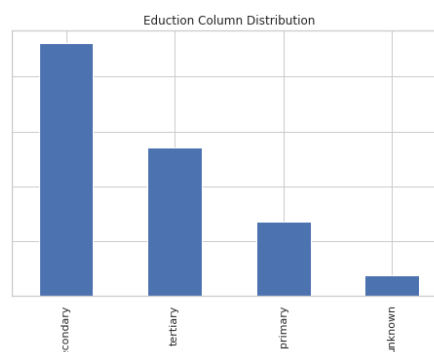


Рисунок 9. Распределение столбцов образования

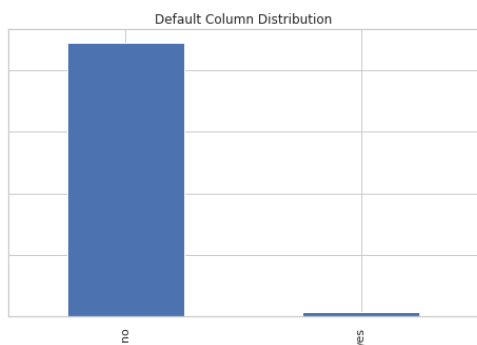


Рисунок 10. Есть ли у клиента кредит по умолчанию или нет



Рисунок 11. Имеется ли потребительский кредит

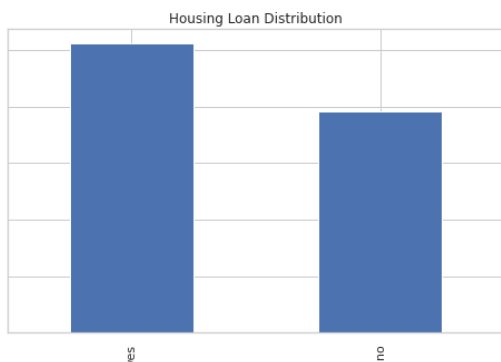


Рисунок 12. Имеется ли жилищный кредит

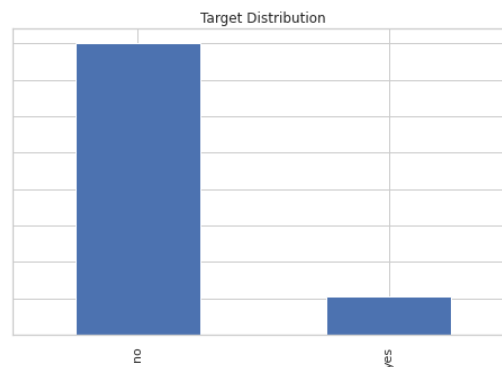


Рисунок 13. Сюжетный клиент подписался на срочный депозит

Дискуссия

Для столбца «Семья» у нас есть три значения «женат», «холост» и «разведен». Мы будем использовать функцию `get_dummies` от `pandas` для преобразования категориальной переменной в фиктивные/индикаторные переменные. Есть три значения, если два значения в фиктивных столбцах равны 0 для определенной строки, тогда оставшийся столбец должен быть равен 1.

Важно устранить любую избыточность и корреляции в функциях, поскольку становится трудно определить, какая функция является наиболее важным для минимизации общей ошибки.

В результате мы получаем:

- Точность модели логистической регрессии составляет 89,83%.
- Точность модели классификатора случайного леса составляет 91,71%.
- Точность модели SVC составляет 89,61%.
- Точность модели классификатора дерева решений составляет 87,29%.
- Итого максимальная точность модель алгоритма случайного леса составляет 91,71%.

Если смотреть по возрастным значениям, то мы видим, что более высокие ставки по подписке на срочные депозиты относятся к младшей и старшей группам клиентов. Это говорит о том, что для следующей кампании рекомендуется, чтобы сосредоточиться на клиентах из возрастных категорий до 30 лет и старше 50 лет.

Такой же анализ можно провести по балансу счета клиента и количеству контактов с клиентом во время кампании. Мы рассмотрели кейс в одной из самых типичных областей экономики, где применили науку о данных. Были рассмотрены все части анализа: исследование исходных данных, общие аспекты очистки данных, моделирование и подготовка окончательных результатов.

Заключение

Дальнейшее развитие цифровой экономики в Казахстане принесет стране дополнительные экономические преимущества. Развитие электронной коммерции способно стимулировать деловую активность путем предоставления потребителям дополнительных каналов к предприятиям малого и среднего бизнеса. Цифровая повестка дня становится обязательным элементом любой стратегии, выдвигаемой любой компанией в наши дни. Для компаний во всех отраслях казахстанской экономики открываются реальные возможности, и в этом направлении стоит активно поработать.

Результатом структуры бизнес-аналитики являются однородные структурированные данные, которые можно хранить в хранилищах данных. Рынок цифровой рекламы основан на нисходящем моделировании, основанном на экономической мощи местоположения, измеряемой его валовым внутренним продуктом. Сегмент рекламы в социальных сетях разделен на категории для персональных компьютеров и мобильных устройств. Различные функции и особенности делают определенные платформы более подходящими для одного бренда, чем для другого. В то же время различное наследие и культуры также привлекают определенные демографические группы аудитории.

Первоначальные результаты исследования создают систему, которая объединяет механизмы принятия решений с помощью больших данных, аналитикой и моделированием. Аналитический подход в социальных сетях относится к сбору и оценке социальных сетей и блогов для принятия решений.

Также в этой статье мы предоставили использование Big Data в цифровом маркетинге. Big Data и аналитика помогут улучшить классические маркетинговые стратегии. Технология позволяет компаниям отслеживать цифровую деятельность миллионов людей с помощью различных методов, которые позволяют компаниям лично взглянуть на поведение потребителей и покупательские привычки. Сбор данных, и особенно маркетинговых данных, может принести много преимуществ, кто занимается маркетингом, и помогает им принимать более эффективные решения.

Использование больших данных в сочетании с маркетинговыми стратегиями окажет значительное влияние на деятельность компании. Компании извлекают выгоду, собирая и анализируя большие объемы новых данных об использовании своей продукции, которые позволяют понять влияние продуктов и услуг, скорректировать методы и цели и быстрее предоставлять клиентам более качественную продукцию. Данное исследование направлено на то, чтобы помочь лицам, принимающим решения, использовать большие данные для повышения эффективности своей организации.

Список использованных источников:

- 1 Appel G. et al. *The future of social media in marketing* // *Journal of the Academy of Marketing Science*. – 2020. – Т. 48. – №. 1. – С. 79-95
- 2 Sedgwick R. et al. *Social media, internet use and suicide attempts in adolescents* // *Current opinion in psychiatry*. – 2019. – Т. 32. – №. 6. – С. 534
- 3 Felix R., Rauschnabel P. A., Hinsch C. *Elements of strategic social media marketing: A holistic framework* // *Journal of Business Research*. – 2017. – Т. 70. – С. 118-126.
- 4 Ольшевский Д. *SMM-продвижение как эффективный инструмент интернет-маркетинга* // *Наука и инновации*. – 2017. – Т. 9. – №. 175. – С. 59-63.
- 5 HOOTSUITE W.E.A.R.E.S.Y. *Digital 2022. Global Digital Overview*. 2022. <https://datareportal.com/reports/digital-2022-kazakhstan>
- 6 Statcounter G. S. *Search engine market share worldwide*. – 2022. <https://gs.statcounter.com/social-media-stats/all/kazakhstan>
- 7 Гришкина Ю. Э. *Маркетинг в социальных сетях (SMM) как основной инструмент ведения бизнеса на online платформе* // *Хроноэкономика*. – 2018. – №. 5 (13). С. 71–76.
- 8 Игнатьева И. В., Зедгенизова И. И. *Маркетинг социальных сетей как инструмент продвижения* // *Инновации и инвестиции*. – 2019. – №. 7. – С. 125-129.
- 9 Тарасова Е. И. *Инструменты SMM-продвижения бренда* // *Экономика и управление в XXI веке: стратегии устойчивого развития: сборник*. – 2019. – С. 40.
- 10 Lundberg J., Nordqvist J., Laitinen M. *Towards a language independent Twitter bot detector* // *DHN*. – 2019. – С. 308-319.
- 11 Khodzhaliev S. A., Zvorykina T. I., Beloglazova L. *SMM in the tourism industry after lockdown: strategies and tools for promoting B2C marketing* // *ИОАВ Journal*. – 2020. – Т. 11. – №. 3. – С. 72-76.
- 12 Pietsch W. *Big Data*. – Cambridge University Press, 2021. – С. 25-32
- 13 Hariri R. H., Fredericks E. M., Bowers K. M. *Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges* // *Journal of Big Data*. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 1-16.
- 14 S. Moro, P. Cortez and P. Rita. *A Data-Driven Approach to Predict the Success of Bank Telemarketing*. *Decision Support Systems, Elsevier*, 62:22-31, June 2017. – С. 7-13.

References:

- 1 Appel G. et al. (2020) *The future of social media in marketing*. *Journal of the Academy of Marketing Science*. T. 48. №. 1. 79-95.
- 2 Sedgwick R. et al. (2019) *Social media, internet use and suicide attempts in adolescents* // *Current opinion in psychiatry*. T. 32. №. 6. 534.
- 3 Felix R., Rauschnabel P. A., Hinsch C. (2017) *Elements of strategic social media marketing: A holistic framework*. *Journal of Business Research*. T. 70. 118-126.
- 4 Ol'shevskij D. (2017) *SMM-prodvizhenie kak jeffektivnyj instrument internet-marketinga [SMM promotion as an effective Internet marketing tool]*. *Nauka i innovacii*. T. 9. №. 175. 59-63. (In Russian)
- 5 HOOTSUITE W.E.A.R.E.S.Y. *Digital 2022. Global Digital Overview*. – 2022. <https://datareportal.com/reports/digital-2022-kazakhstan>
- 6 Statcounter G. S. *Search engine market share worldwide*. – 2022. <https://gs.statcounter.com/social-media-stats/all/kazakhstan>

- 7 Grishkina Ju. Je. (2018) *Marketing v social'nyh setjah (SMM) kak osnovnoj instrument vedenija biznesa na on-line platforme [Social media marketing (SMM) as the main business tool on the on-line platform]. Hronojekonomika. №. 5 (13). 71–76. (In Russian)*
- 8 Ignat'eva I. V., Zedgenizova I. I. (2019) *Marketing social'nyh setej kak instrument prodvizhenija [Social media marketing as a promotion tool]. Innovacii i investicii. №. 7. 125-129. (In Russian)*
- 9 Tarasova E. I. (2019) *Instrumenty SMM-prodvizhenija brenda [Brand SMM tools]. Jekonomika i upravlenie v XXI veke: strategii ustojchivogo razvitija: sbornik. 40. (In Russian)*
- 10 Lundberg J., Nordqvist J., Laitinen M. *Towards a language independent Twitter bot detector //DHN. – 2019. – C. 308-319.*
- 11 Khodzhaliev S. A., Zvorykina T. I., Beloglazova L. *SMM in the tourism industry after lockdown: strategies and tools for promoting B2C marketing //ИЮАВ Journal. – 2020. – Т. 11. – №. 3. – С. 72-76.*
- 12 Pietsch W. *Big Data. – Cambridge University Press, 2021. 25-32.*
- 13 Hariri R. H., Fredericks E. M., Bowers K. M. *Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges //Journal of Big Data. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 1-16.*
- 14 S. Moro, P. Cortez and P. Rita. *A Data-Driven Approach to Predict the Success of Bank Telemarketing. Decision Support Systems, Elsevier, 62:22-31, June 2017. 7-13.*

Б.А. Урмашев¹, С.Е. Касенов¹, А.Н. Темирбеков¹, Л.А. Сагимбаева^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: sagymbaeva.lida@gmail.com

ФАРМАКОКИНЕТИКАНЫ МОДЕЛДЕУГЕ АРНАЛҒАН КИНЕТИКАЛЫҚ СОЛВЕР

Аңдатпа

Бұл мақалада фармакокинетиканы модельдеу үшін кинетикалық солвердің әзірленуі қарастырылды. Қызмет көрсетуге бағытталған парадигма негізінде фармакокинетика модельдерін автоматтандырылған әзірлеу үшін ақпараттық-есептеу жүйесінің архитектурасы әзірленді, оның ішінде: жүйені құруға қажетті қызметтер жиынтығы анықталды, әзірленген жүйе шеңберінде фармакокинетика модельдерін автоматтандырылған әзірлеу мәселелерін шешу қызметтерінің өзара әрекеттесу схемалары айқындалады, қажетті схемалар мен мәліметтердің алмасу ағындары анықталды, сервистік интерфейстер әзірленді. Жүйенің жаңа пайдаланушыларын тіркеу, рөлдер құру, құқықтар беру мүмкіндігі жасалды. Фармакокинетика модельдерін есептеу алгоритмдері жасалды. Фармакокинетика модельдеріне сәйкес бастапқы жағдайлары бар қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу үшін аналитикалық шешімдер табылған. Фармакокинетика сызықты бір-екі-үш камералы модельдер үшін тура және кері есептер шешілді. Дербес компьютерлерден де, телефондардан да, Интернетке немесе жергілікті жүйеге қосылған смартфондардан пайдаланушылардың қол жеткізуін жүзеге асыру және серверде есептеулер жүргізу үшін браузерлерден сұрауларды жіберу арқылы есептеулерді орындау үшін жүйе құрылды. Веб-сервисте жүзеге асырылатын модельдердің есебінің нәтижелерін тексеру үшін мәліметтермен тестілеу жүргізілді.

Түйін сөздер: кинетикалық солвер, кері есеп, фармакокинетика, үш камералы модель, валидация, дифференциалдық теңдеулер жүйесі.

Аннотация

Б.А. Урмашев¹, С.Е. Касенов¹, А.Н. Темирбеков¹, Л.А. Сагимбаева¹

¹ Казахстанский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

КИНЕТИЧЕСКИЙ СОЛВЕР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАРМАКОКИНЕТИКИ

В статье рассматривается разработка кинетического солвера для моделирования фармакокинетики. Было разработана архитектура информационно-вычислительной системы для автоматизированной разработки моделей фармакокинетики на основе сервисно-ориентированной парадигмы, включая: определены наборы сервисов, необходимых для создания системы, определены схемы взаимодействия сервисов для решения задач автоматизированной разработки моделей фармакокинетики в рамках разрабатываемой системы, определены необходимые схемы и потоки обмена данными, разработаны интерфейсы сервисов. Реализовано возможность регистрации новых пользователей системы, создания ролей, предоставления прав. Отработаны алгоритмы вычисления по моделям фармакокинетики. Найдены аналитические решения при решении систем обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями по моделям фармакокинетики. Решены прямые и обратные задачи для линейных одно-двух-трехкамерных моделей фармакокинетики. Создана система для выполнения расчетов при помощи отправления запросов с браузеров как с персональных компьютеров так и с телефонов, смартфонов, которые подключены к интернету или к локальной системе при реализации доступа пользователей и для проведения расчетов на сервере. Для проверки результатов расчета моделей, реализуемых в веб-сервисе, было проведено тестирование данных.

Ключевые слова: кинетический солвер, обратная задача, фармакокинетика, трехкамерная модель, валидация, система дифференциальных уравнений.

Abstract

KINETIC SOLVER FOR MODELING PHARMACOKINETICS

Urmashhev B.A.¹, Kasenov S.E.¹, Temirbekov A.N.¹, Sagimbayeva L.A.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The article discusses the development of a kinetic solver for modeling pharmacokinetics. The architecture of an information-computing system was developed for the automated development of pharmacokinetics models based on a service-oriented paradigm, including: the sets of services necessary to create a system were determined, service interaction schemes for solving the problems of automated development of pharmacokinetics models within the

framework of the system being developed are defined, necessary schemes and data exchange flows are defined, service interfaces have been developed. Implemented the ability to register new users of the system, create roles, grant rights. Algorithms of calculation based on pharmacokinetic models have been developed. Analytical solutions are found for solving systems of ordinary differential equations with initial conditions using pharmacokinetic models. Direct and inverse problems for linear one-two-three-chamber models of pharmacokinetics are solved. A system has been created to perform calculations by sending requests from browsers, both from personal computers and from phones, smartphones that are connected to the Internet or to a local system when implementing user access and for making calculations on the server. To check the results of calculating the models implemented in the Web Service, data testing was performed.

Keywords: kinetic solver, inverse problems, pharmacokinetics, three- compartment model, validation, system of differential equations.

Кіріспе

Фармакокинетикалық модельдер препараттың ағзадағы орналасуын болжау құралы ретінде кеңінен қолданылады. Мұны препараттың дене тіндері мен клиренс арқылы бір мезгілде таралуын модельдеу арқылы алдын- ала болжауға болады [1]. Негізгі фармакокинетикалық ұғымдар көлем мен клиренс болып табылады. Препаратты ағзадан шығару үшін қажетті уақыт көлемнің клиренске қатынасымен анықталады [2]. Кинетика уақыт бірлігіне концентрация бірлігінде көрсетілген дәрілік зат концентрациясының өзгеру жылдамдығы ретінде анықталады [3]. Камералық модельдегі камера трансформация мен тасымалдаудың біртекті және материалдық кинетикасы бар зат мөлшері ретінде анықталады [4-6].

Фармакокинетикалық зерттеулер организмнің зерттелетін дәрілердің сіңуіне, таралуына, метаболизміне және шығарылуына математикалық тұрғыдан қалай әсер ететінін зерттейді [7].

Қолданбалы фармакокинетика, бұл дәрі-дәрмектердің денеге таралуындағы өзгергіштікті бақылау арқылы денені емдеу нәтижелерін жақсарту үшін күшті теориялық негізі бар күрделі клиникалық пән [8]. Фармакокинетикалық талдау камерасыз (модельдік-тәуелсіз) немесе камералық әдістермен жүргізіледі. Камералық фармакокинетикалық талдау концентрация, уақыт қисығын сипаттау және болжау үшін фармакокинетикалық модельдерді қолданады. Камералық әдістердің камерасыз әдістерге қарағанда басты артықшылығы, концентрацияны болжау мүмкіндігі [8].

Көп камералы модельдеу физикалық тіршіліктегі жүйелерді математикалық түрде модельдеуге болатын бірнеше болжамдарды қабылдауды қажет етеді:

1. Камера ішіндегі материалдарды лезде біркелкі тарату;
2. Камералар арасындағы материалдардың алмасу жылдамдығы осы камералардың тығыздығына пропорционалды. Мысалы, I камерадан j камерасына ауысу жылдамдығым- k_{ij} mi, ал m_i -i бөліміндегі дәрі-дәрмектің массасы, ал k_{ij} -жылдамдық константасы;
3. Әдетте камералар арасында берілгенде материалдардың химиялық реакцияларға ұшырамағаны жөн [9].

Іс жүзінде камералар саны әдетте 3-ке дейін шектеледі, өйткені биологиялық өзгергіштік пен талдаудың өзгеруі бақыланатын мәліметтер бойынша қосымша коэффициенттер мен көрсеткіштерді бағалауға мүмкіндік бермейді [10]. Экспоненциалды үлестіру функциясын орталық камераға препарат енгізіп, перифериялық камераларға бірінші ретті процестерді бере отырып, математикалық түрде көп камералы модельге айналдыруға болады.

1968 жылы Крюгер-Тимер алғаш рет қандағы дәрі-дәрмектердің концентрациясының тұрақты деңгейіне жету және оны ұстап тұру үшін екі камералы модельді ұсынды [8, 10]. Нәтижелер жүктеме дозасы тұрақты күйге жету үшін бастапқы үлестіру көлемін толтыру үшін қажет екенін көрсетті. 1981 жылы Швильден үш камералы модельде препараттың орталық камерада (C_1) тұрақты концентрациясын ұстап тұру әдісін ұсынды [10].

Зерттеу әдіснамасы

Бағдарламалық жасақтама архитектурасын таңдау. Аралық өнімдер түзілуімен реакциялардың химиялық кинетикасының кері есептерін шығаруды орындау барысында бағдарламалық жасақтама жасау үшін біз келесі шешімдер қабылдаймыз:

Ең алдымен бағдарламалық жасақтама архитектурасын таңдау. Архитектуралық модельді қолдану арқылы сервиске- бағытталған парадигма негізінде (математикалық) бөліктерге бөлу арқылы есептеу.

- 1) Веб-қосымша түріндегі интерфейс бөлігін СПА технологиялары негізінде дайындау.
- 2) Жеке есептеу бөлімдерін сервистерде даярлау.
- 3) Дайындалған модельдердің ақпараттар қорында сақталуын қамтамасыз ету.
- 4) Тұтынушылар арасында дайындалған модельдердің нәтижелеріне қарауды қамтамасыз ету.
- 5) Бастапқы мәліметтер мен есептеу нәтижелерін қамтитын деректерді сақтаудың икемді форматы әзірленді.

Web-қосымша түріндегі интерфейс бөлігі. Медициналық мекемелерде, фармакологтарда, дәрі-дәрмектерді іріктеуде және мөлшерлеумен айналысатын дәрігерлерде, сондай-ақ медициналық информатика мамандарында бағдарламалық қамтамасыздандыруды қолдануы оның функционалдығына оңай қол жеткізуді қажет етеді. Мәселенің осы тұжырымына байланысты интерфейс бөлігін веб-қосымшалар түрінде енгізуге болады.

Интерфейсті бөлігі екі серверден тұрады:

1. Nginx прокси серверіне негізделген статикалық мәліметтерді таратуға арналған сервер.
2. Apache Tomcat веб-серверіне негізделген динамикалық жауаптарды жасауға арналған сервер.

Nginx прокси серверін таңдау оның пайдаланудың қарапайымдылығымен, өнімділігімен және сенімділігімен байланысты. Бұл прокси-сервер әлемдегі ең танымал үш прокси сервердің бірі болып табылады.

Nginx өте жылдам HTTP сервері болып саналады. Apache орнына немесе онымен бірге Nginx сұраныстарды өңдеуді жылдамдату және серверге жүктемені азайту үшін қолданылады.

Клиенттер географиялық тұрғыдан Nginx жүйесіндегі IP мекенжайы бойынша арнайы модуль арқылы жіктеледі. Radix tree жүйесі ең аз жақты алып, IP мекенжайларымен жылдам жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Web-қосымшаны іске асыру үшін келесі құрылғыларды таңдадық: Spring Framework және Angular. Spring Framework бұл Java-платформа үшін ашық бастапқы кодымен жан-жақты құрылғы.

Spring Framework пайдалану арқылы қосымшалар серверінде мәліметтерді, бұлттағы мәліметтерді және қауіпсіздікті т. б. модульдерді қолданатын әдістер тағайындалды.

СПА технологиялары негізінде веб қосымшасын әзірлеуге мүмкіндік беретін Angular құрылғысы бар. Сондай-ақ, бұл құрылғы бізге клиент тарапынан күрделі өнеркәсіптік қосымшаларды жасауға мүмкіндік береді.

REST архитектурасы базасында Spring MVC және Angular-дың өзара әрекеттесуі жүзеге асырылады.

Тұтынушылық модуль есептеу моделін таңдауға мүмкіндік береді. Таңдап алынған есептеу моделіне кіріс деректерін енгізіп, есептеуді орындауға болады.

Фармакокинетика есептерін модельдеу, тиімді ету және жаңа алгоритмдер мен сандық әдістерді, дәрілік заттардың фармакокинетикалық параметрлері туралы деректерді, ағзадағы дәрілік заттарды бөлу үрдістерін кинетикалық сұлбаларын әзірлеу бойынша жұмыстар C++ бағдарламалау тілдерінде жүргізілетін болады. Фармакокинетика мәселелерін шешу бастапқы теориялық және эксперименттік деректердің үлкен көлемін талдауды, өңдеуді және сақтауды талап етеді. PostgreSQL тек реляциялық емес, объектілі-реляциялық ДҚБЖ. Объект-реляциялық дерекқордың негізгі сипаттамасы - бұл деректер түрлерін, функцияларды, операцияларды, домендер мен индекстерді қоса алғанда, пайдаланушы объектілерін және олардың мінез-құлқын қолдау. Бұл PostgreSQL-ді өте ыңғайлы және өз-өзіне сенімді етеді. Сонымен бірге, күрделі мәліметтер құрылымының қалай құрылатыны, сақтауға және шығаруға болатындығын біледі. Сондай-ақ, дерекқорды пайдалану жүйені тұтынушылар арасындағы есептесуіне алып келуге мүмкіндік береді.

Мәліметтерді сақтау форматы XML форматында болады. Бағдарламалық жасақтамаға қойылатын талаптар. Веб-қосымшаның деректері бойынша жұмыс істеу үшін JavaScript және Cookies қолдауы бар заманауи веб-браузер қажет.

Тұтынушының жұмыс орнын техникалық қамтамасыз етуге қойылатын талаптар. Тұтынушы қосымшада ыңғайлы жұмыс істеу үшін 1920x1080 пиксель (Full HD) немесе одан жоғары ажыратымдылығы бар мониторды пайдалану қажет. 2 ГБ-тан кем емес жедел жады жеткілікті болады.

Бағдарламаны іске қосу үшін браузерді ашып, мекен-жайға өту керек. Логин мен парольді енгізу қажет. Тіркеу бетінде тұтынушы келесі міндетті өрістерді енгізуі керек: Қолданушы; Күпия сөз; Күпия сөзді растау; Аты; Тегі; Электрондық пошта.

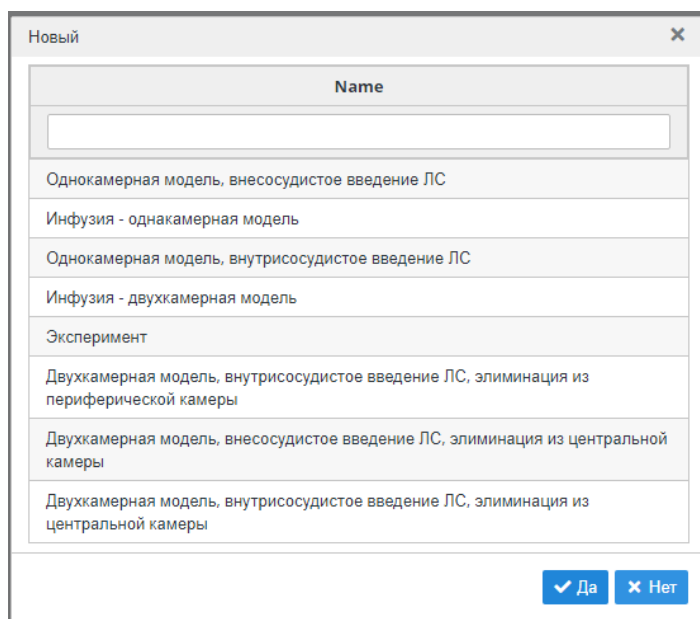
Алғашқы бет үш бөліктен тұрады: 1) жоғарғы бөлігі (header); 2) бүйірлік мәзір (menu); 3) жұмыс аймағы (work area).

Мәзір элементтері кішірек белгішелер түрінде көрсетіледі. Жүгірмені белгішеге апарған кезде белгіше атауы қалқымалы шақыру түрінде көрсетіледі.

Тұтынушының құқықтарына байланыстары меню белгішелерінің тізімі таңдалады.

Бөліктердің толық тізбесі: Жаңа жоба; Жобалар; Пайдаланушылар; Рөлдер.

Қойындылар жұмыс алаңында түрлі терезелр түрінде ашылады: жоба терезесі, тұтынушылар және т. б. Тұтынушы профилі және бағдарламадан шығу. Жоғарғы алаңның оң аумағындағы тұтынушы атын басып, белгішелер менюін ашуыңызға болады: 1) Профиль; 2) Шығу. Профиль терезесінде электрондық поштаны, аты-жөнін өңдеуге болады. Жаңа жоба қалыптастыру үшін жанындағы менюдегі «Жаңа жоба» белгішесін басу керек. Осы орайда тапсырманы таңдауға арналған модальды терезе пайда болады (1-сурет).



Сурет 1. Модальді терезе

Тұтынушы тапсырманы жасау керек іс-әрекеттер:

- 1) тізім қатарынан тінтуірді бір рет шерту арқылы тапсырманы таңдау;
- 2) содан соң «Иә» батырмасын бау қажет;
- 3) диалог терезесі жабылып, жаңа жоба терезесі ашылады.

Әр жаңа жоба жаңа терезеде ашылуы тиіс. Тапсырма аты терезе атауымен сәйкес келуі қажетті. Ол жер бірнеше аймаққа бөлінген. Тапсырма түрі олардың тізімі мен мазмұнына байланысты. Бірақ та барлық жаңа жобаларда келесі бағыттар бар: 1) әрекеттер тақтасы (батырмалар); 2) Қасиеттер.

Әрекеттер алаңында мынадай батырмалар кездеседі: «Сақтау», «Excel», «Жүктеу». «Қасиеттер» жоба идентификаторы, салған күні және жобаға түсіндірме бар. Панельдерді уақытша жасыруға және ашуға болады.

Құрылған жобаны сақтауға болады. Енгізілген мәліметтер жоба үшін, оларды алдын-ала есептеу жағдайында есептелген мәліметтер сақталады. Жобаны сақтау үшін сізге: 1) жоба атауын енгізу керексіз; 2) содан соң «Сақтау» белгішесін басамыз.

Жобаның бірегей идентификаторы жасала отырып шығару енгізу мәліметтері сервердің деректер қорында сақталады. xml файлын жүктеу «Жүктеу» белгішесін басу арқылы жобаның кіріс және шығыс мәліметтерін қамтиды. «Excel» белгішесін басу арқылы кіру және шығару мәліметтері бар excel файлы түсіріледі. Сақталған жаңа жобаларды «Жобалар» менюі арқылы ашуға болады. Бұл терезе жобаларды аты мен тапсырма түрі бойынша фильтрден өткізуге мүмкіндік береді.

Жүйеде келесідегідей модельдердің есептеулері жүзеге асырылған:

- Дәрі-дәрмекті тамыр ішіне енгізу – бұл бір камералы модель;
- Дәрі-дәрмекті қан тамырларынан тыс енгізу – бұл да бір камералы модель;

– Элиминация немесе зәр шығаруды орталық камерадан шығару, дәрі-дәрмекті тамыр ішіне енгізу - екі камералы модель;

– Екі камералы модель, дәрі-дәрмекті тамыр ішіне енгізу, элиминация перифериялық камерадан шығару;

– Екі камералы модель, дәрі-дәрмекті тамыр ішіне енгізу, элиминация орталық және перифериялық камералардан шығару;

– Екі камералы модель, дәрі-дәрмектерді қан тамырларынан тыс енгізу, элиминация орталық камерадан шығару;

– Екі камералы модель, дәрі-дәрмектерді қан тамырларынан тыс енгізу, элиминация перифериялық камерадан шығару;

– Екі камералы модель, тамырдан тыс дәрі енгізу, элиминация орталық және перифериялық камералардан шығару;

– Инфузия, бір камералы модель;

– Инфузия, екі камералы модель.

Тура есеп үшін жаңа жоба құру осы есепті жоба құру терезесіндегі тізімнен таңдап, «Иә» батырмасын басу керек. Бұл терезеде: Есептеу; График; Табылған мәліметтер; Уақыт шкаласы бойынша нәтижелер. Есептеу үшін сіз есептеу тақтасында параметрлерді енгізіп «Есептеу» батырмасын басыңыз керек. «Эксперимент» тапсырмасына жоба құру үшін жобаны құру терезесіндегі тізімнен осы тапсырманы таңдап, «Иә» батырмасын басыңыз.

Бұл жоба төрт терезеден тұрады: Эксперимет; Эксперимет (пт. жоқ); Алынған мәліметтер; График. «Тәжірибе» терезесінде енгізу параметрлері орнатылады. Есептелген мәліметтер жиыны «Алынған деректер» бөлігінде көрсетіледі. Жолдар «График» бөлігінде көрсетіледі. Қажетті жолдарды таңдап, оларға графиктер құруға болады.

«Кері есеп» жобасын тура есептегі «Қателер» батырмасын басу арқылы ашуға болады. Бұл орайда тура есеп есептелген болуы шарт. Кері есеп арқылы шығуды жүзеге асыратын тура есептер тізімі:

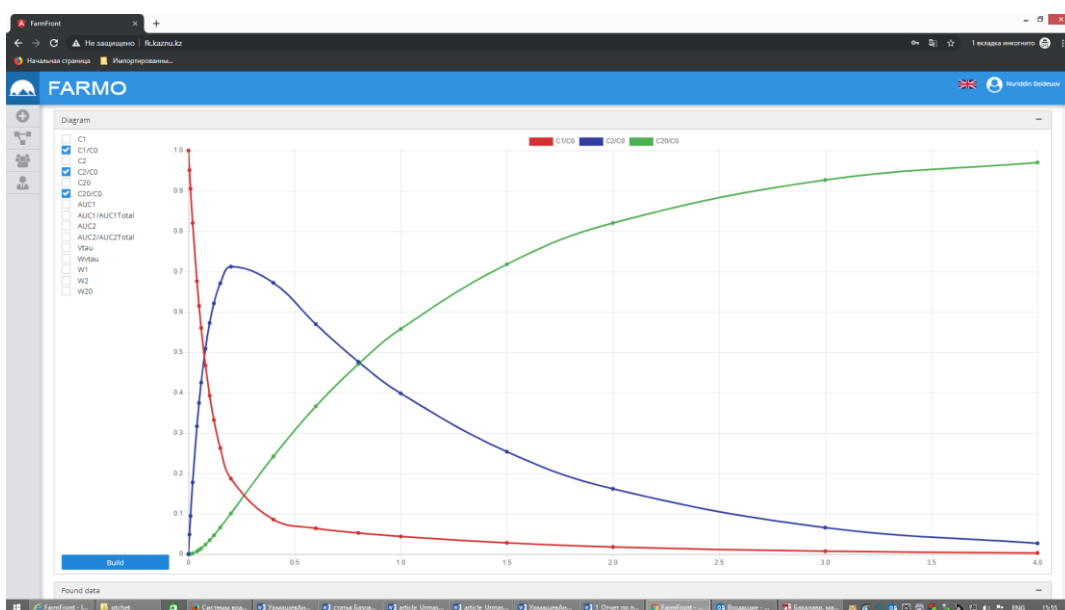
– Екі камералы модель, дәрі-дәрмекті тамыр ішіне енгізу, элиминация орталық камерадан шығару;

– Екі камералы модель, дәрі-дәрмекті тамырдан тыс енгізу, элиминация орталық камерадан шығару;

– Инфузия, екі камералы модель.

Кері есеп жобасы тура есеп атауымен жаңа терезеде ашылады.

Кері байланыс терезесінің де эксперимент сияқты төрт терезесі бар (2-сурет): Эксперимет; Эксперимет (пт. жоқ); Алынған мәліметтер; График.



Сурет 2. Кері есен

Тұтынушыларды өңдеуге және өшіруге болады. Терезе екі қосалқы терезеден тұрады: "негізгі" және "Рөлдер". "Негізгі" терезеде келесі аймақтарды өзгертуге болады: Аты; Тегі; Әкесінің аты; Электрондық пошта; "Бұғатталған" белгісі. "Рөлдер" терезесінде өңделетін тұтынушы үшін рөлдерді таңдау құқығы бар. Тандалған есептеу моделінде кіріс мәліметтер енгізу арқылы, есептеуді жүргізіңіз. Сондай-ақ, есептеу модельдерінің нысандарында алынған нәтижелер бойынша диаграмма салу мүмкіндігі бар (3-сурет), уақыт кестесі туралы мәліметтерді (4-сурет) қараңыз.

Проекты x Двухкамерная модель, внутрисосудовое введение ЛС, элиминация из центральной камеры x Двухкамерная модель, внутрисосудовое введение ЛС, элиминация из центральной камеры x

Количество подопытных 3 Абсолютная ошибка 1 Количество точек 4

Эксперимент Эксперимент (без тч) Полученные данные График

| N | Модельный C1 | Опытный C1-1 | Опытный C1-2 | Опытный C1-2 | Опытный C1-2 |
|----|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 47.330272892619035 | 47.4911958205 | 47.4817297659 | 47.3492050018 | 47.3492050018 |
| 2 | 44.81487013238269 | 45.2182039636 | 44.7162774181 | 44.8955368996 | 44.8955368996 |
| 3 | 40.21184948265783 | 40.6099467925 | 39.8981970567 | 40.2319554074 | 40.2319554074 |
| 4 | 32.49791790638742 | 32.5076672818 | 32.5629137422 | 32.549914575 | 32.549914575 |
| 5 | 29.277437045933972 | 29.1632550415 | 29.4531016682 | 29.3301364326 | 29.3301364326 |
| 6 | 26.418367877897268 | 26.354963795 | 26.3760984893 | 26.4579954297 | 26.4579954297 |
| 7 | 21.626629849496023 | 21.555261971 | 21.7866669104 | 21.7801789214 | 21.7801789214 |
| 8 | 17.849624602421695 | 17.9620772374 | 17.7978606911 | 17.8853238516 | 17.8853238516 |
| 9 | 14.872179567428098 | 14.9465404653 | 14.9048983625 | 14.8260758108 | 14.8260758108 |
| 10 | 11.544358678241654 | 11.5328143196 | 11.6032349075 | 11.4981812435 | 11.4981812435 |
| 11 | 8.0622570299935127 | 8.0735441898 | 8.1106305721 | 8.1420733745 | 8.1420733745 |
| 12 | 4.135942111897436 | 4.1256022566 | 4.1396644598 | 4.0978914445 | 4.0978914445 |
| 13 | 3.717266925927693 | 3.7481202414 | 3.7243297331 | 3.7083454853 | 3.7083454853 |
| 14 | 3.623123195661754 | 3.6079060791 | 3.6242101335 | 3.6318186922 | 3.6318186922 |
| 15 | 3.5598426684183684 | 3.592593221 | 3.5783538503 | 3.5844055828 | 3.5844055828 |
| 16 | 3.413266953588805 | 3.402685826 | 3.4354531888 | 3.4187281807 | 3.4187281807 |
| 17 | 3.2730083356403985 | 3.2864276698 | 3.2500927273 | 3.2749721406 | 3.2749721406 |
| 18 | 3.009546264705249 | 3.0360302718 | 3.0119539017 | 3.0035271722 | 3.0035271722 |
| 19 | 2.7672916767346907 | 2.7725495309 | 2.741279135 | 2.7747633643 | 2.7747633643 |
| 20 | 2.339713940094742 | 2.3322268555 | 2.3390120259 | 2.3436914538 | 2.3436914538 |
| 21 | 1.6725473214682356 | 1.6825826054 | 1.6692022268 | 1.6817463317 | 1.6817463317 |

Сурет 3. Клиент модулі. Диаграмма құруға арналған форма блогы

Results by time scale

| N | t | C1 | C1/C0 | C2 | C2/C0 | C20 | C20/C0 | AUC1 | AUC1/AUC1Total | AUC |
|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.005 | 4.756786660299352 | 0.9513499320598704 | 0.24263766714120152 | 0.0485275334282403 | 0.0006126725594467024 | 0.00012253451189934047 | 0.02438630122600949 | 0.0243863012260095 | 0.0006126725 |
| 3 | 0.01 | 4.526510926901914 | 0.9053021853803829 | 0.471086423024111 | 0.09421726846048221 | 0.002402730795674518 | 0.0004805461591349036 | 0.04758918038937602 | 0.04758918038937603 | 0.0024027307 |
| 4 | 0.02 | 4.102286861110563 | 0.820459736221125 | 0.888485650830656 | 0.17769171301661313 | 0.00924275380637149 | 0.001848550761274298 | 0.09069440726958086 | 0.09069440726958089 | 0.0092427307 |
| 5 | 0.04 | 3.38153806245823 | 0.6783116132491365 | 1.5841863394037705 | 0.3168372678807341 | 0.03425594350546925 | 0.006851118870109385 | 0.1652697528104845 | 0.1652697528104845 | 0.034255943 |
| 6 | 0.05 | 3.076257678325981 | 0.6152515356651962 | 1.8721746868958981 | 0.374449373917976 | 0.05156763471503081 | 0.010313526943006163 | 0.19733099563890497 | 0.19733099563890503 | 0.051567634 |
| 7 | 0.06 | 2.802581917490037 | 0.5605163834980615 | 2.1258337919172 | 0.4251666758233444 | 0.07158470339052056 | 0.014316940678104111 | 0.226900278500214 | 0.226900278500214 | 0.071584703 |
| 8 | 0.08 | 2.3371799182373185 | 0.4674359836474637 | 2.5443506550513795 | 0.5088701310102729 | 0.11846942671190206 | 0.023693885342260412 | 0.27812895084739836 | 0.2781289508473984 | 0.118469426 |
| 9 | 0.1 | 1.9627730218617112 | 0.39255460437234224 | 2.864527917284886 | 0.573804583456988 | 0.17270418640994048 | 0.03454083728196809 | 0.320993116445813 | 0.320993116445813 | 0.172704186 |
| 10 | 0.12 | 1.6612764319642743 | 0.33225528639285484 | 3.1061956840910416 | 0.6212391368182083 | 0.23252768394468427 | 0.04850557678893685 | 0.357125145198041 | 0.357125145198041 | 0.232527683 |
| 11 | 0.15 | 1.3148568570804575 | 0.2629713714160915 | 3.355947698565576 | 0.6710789539713116 | 0.32974837306229852 | 0.06594967461259704 | 0.4014891515982527 | 0.4014891515982528 | 0.329748373 |
| 12 | 0.2 | 0.934605403562854 | 0.18692108071125307 | 3.5618417543381153 | 0.7123683508678231 | 0.5035528421056188 | 0.10071056842112376 | 0.45689474385493534 | 0.4568947438549355 | 0.503552842 |
| 13 | 0.4 | 0.42843178573024243 | 0.08586635714604848 | 3.3614412893581207 | 0.6722832578716242 | 1.2101269249116364 | 0.2420238488232729 | 0.5781695139181394 | 0.5781695139181396 | 1.210126924 |
| 14 | 0.6 | 0.319541371183587 | 0.0639082742367174 | 2.849192993484877 | 0.5698385986969754 | 1.831265633315355 | 0.3662531270663071 | 0.6511724264147948 | 0.651172426414795 | 1.831265633 |
| 15 | 0.8 | 0.2626985098408325 | 0.052339301968166495 | 2.3839453243790807 | 0.4767890648758161 | 2.3533581657800857 | 0.4706716331560171 | 0.7090661655939254 | 0.7090661655939254 | 2.353358165 |
| 16 | 1 | 0.21892823544717338 | 0.04378964708943468 | 1.9913440753126763 | 0.39826881506253525 | 2.789727680240149 | 0.5579455378480298 | 0.7570799453792976 | 0.7570799453792978 | 2.78972768 |
| 17 | 1.5 | 0.1394849390886054 | 0.02789672818456949 | 1.269116938808283 | 0.253832387761657 | 3.591354665196323 | 0.718270933092646 | 0.8451871024273474 | 0.8451871024273477 | 3.59135466 |
| 18 | 2 | 0.0889493989086054 | 0.017778987796172107 | 0.808856740358188 | 0.16177135480716376 | 4.102248289893319 | 0.820496573996639 | 0.9013353348002461 | 0.9013353348002461 | 4.10224828 |
| 19 | 3 | 0.03610656532130782 | 0.007221313064261564 | 0.32853434247235 | 0.065706868485447 | 4.635599092251456 | 0.9270718184502911 | 0.9599252526930147 | 0.959925252693015 | 4.63559909 |
| 20 | 4 | 0.01466544765335481 | 0.002933089530670962 | 0.13344119437344898 | 0.0266823874899796 | 4.851893357973195 | 0.970378671594639 | 0.9837227910319838 | 0.9837227910319841 | 4.85189335 |
| tau_1/2_alpha | 0.06245120838926893 | 2.7399375263587284 | 0.5479875052717457 | 2.18319623481252 | 0.4366392468762504 | 0.07686623926001979 | 0.01537247852003957 | 0.23369287129012917 | 0.23369287129012925 | 0.076866239 |
| tau_1/2_beta | 0.7893254082828652 | 0.270292511955741 | 0.0540585043971482 | 2.450492027941426 | 0.490098405588282 | 2.279215450072832 | 0.4558430900145664 | 0.7008922928087091 | 0.7008922928087093 | 2.27921545 |
| tau_1/2_el | 0.6931471805599453 | 0.2905941125391172 | 0.05811882250782344 | 2.623380638395615 | 0.52467612769123 | 2.086025249065267 | 0.4172050498130534 | 0.6795431136526149 | 0.6795431136526151 | 2.08602524 |
| tau_1/2_e | 0.4852030269196145 | 0.36846725210573544 | 0.07369345042114708 | 3.1441609089576175 | 0.628823187191234 | 1.487371839366468 | 0.297474387792364 | 0.811890486830911 | 0.811890486830913 | 1.48737183 |
| MRT1 | 0.6999999999999999 | 0.2886900190277975 | 0.0577338003805955 | 2.607383038938285 | 0.521476611865657 | 2.1039479387687368 | 0.42078958757347436 | 0.681527893666576 | 0.6815278936665761 | 2.10394793 |
| MDT1 | 1 | 0.21892823544717338 | 0.04378964708943468 | 1.9913440753126763 | 0.39826881506253525 | 2.789727680240149 | 0.5579455378480298 | 0.7570799453792976 | 0.7570799453792978 | 2.78972768 |
| MTT1 | 10 | 0.0006584915446518795 | 0.000013169830893037991 | 0.0005991627414323309 | 0.00011983254828646617 | 4.999334988104101 | 0.999869972602602 | 0.9999269138949638 | 0.9999269138949638 | 4.99933498 |
| MTT1 | 0.09999999999999999 | 1.9627730218617114 | 0.3925546043723423 | 2.864527917284886 | 0.573804583456988 | 0.17270418640994053 | 0.034540837281968106 | 0.32099311644581293 | 0.32099311644581304 | 0.172704186 |

Сурет 4. Клиент модулі. Уақыт шкаласы бойынша деректерді көруге арналған форма блогы

Зерттеу нәтижелері

Жоғарыда аталған модельдер бойынша фармакокинетика есептеу алгоритмдерін жасалды. Кейбір модельдер бойынша, бастапқы шарттармен қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйелерінде аналитикалық шешімдер табылды. Бұл есептелген сандық нәтижелердің дұрыстығын мақұлдайды. *Сызықты бір-екі-үш камералы фармакокинетикалық моделдер үшін тура және кері есептер шешілді.*

Модельдер үшін кіріс деректері түрінде скалярлық деректер, сондай-ақ массив түріндегі уақыт аралықтары беріледі. Айта кету керек, әр түрлі модельдер үшін кіріс айнымалыларының саны мен құрамы ажыратылған. Веб-сервис нәтижелері бойынша скаляр мәліметтері, сондай-ақ массив түріндегі мәліметтер бар. Әр модель үшін шығыс деректерінің саны әр түрлі болады. Веб-сервисте жүзеге асырылатын модельдердің есебінің нәтижелерін тексеру үшін алғашқы мәліметтермен тестілеу жүргізілді, олар үшін өнім бұрыннан белгілі.

Дискуссия

Пайдаланушыларға қол жеткізуді жүзеге асыру кезінде және сервер жағында есептеулер жүргізу үшін интернетке немесе жергілікті жүйеге қосылған дербес компьютерлерден де, телефондардан, смартфондардан да браузерлерден сұраулар жіберу арқылы есептеулерді орындау үшін жүйе құрылды. Жүйелік архитектураны ұйымдастыру кезінде келесі технологиялар таңдалды, өйткені олар веб-тораптарды, қызметтер мен қосымшаларды сенімді орналастыру үшін қауіпсіз, оңай басқарылатын, модульдік және кеңейтілетін платформаны ұсынады.

Қорытынды

Үлестірілген жоғары өнімді есептеу жүйелерінде, соның ішінде графикалық үдеткіштермен және жалпы жады бар жүйелерде қолдану үшін кинетикалық солвер іске асырылады. Сонымен қатар, бұлтты жүйелерде (AWS) солвердің іске қосылуын қамтамасыз ететін тапсырмалар менеджері әзірленуде. Гетерогенді таратылған есептеу жүйелерін қолдана отырып, фармакокинетика есептерін модельдеу үшін массивті параллель кинетикалық солвер жүзеге асырылады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 H.-H. Lin, C. Beck, and M. Bloom, "Multivariable lpv control of anesthesia delivery during surgery," in *Proceedings of the 2008 American Control Conference*, 2008, pp. 825–831.
- 2 J. Grevel and B. Whiting, "The relevance of pharmacokinetics to optimal intravenous anesthesia." *Anesthesiology*, vol. 66, no. 1, pp. 1–2, 1987.
- 3 S. BOWER and C. Hull, "Comparative pharmacokinetics of fentanyl and alfentanil," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 54, no. 8, pp. 871–877, 1982.
- 4 B. Marsh, M. White, N. Morton, and G. Kenny, "Pharmacokinetic model driven infusion of propofol in children," *British journal of anaesthesia*, vol. 67, no. 1, pp. 41–48, 1991.
- 5 G. Betzien, B. Kaufmann, B. Schneider, and W. Ritschel, "Kinpak—a new program package for standardized evaluation of kinetic parameters." *Arzneimittel-Forschung*, vol. 35, no. 1, pp. 14–20, 1984. 2016. – V. 1759, 020037
- 6 Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/ под ред. Ю.Ю.Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 83с.
- 7 Shafer SL, Gregg KM, "Algorithms to rapidly achieve and maintain stable drug concentrations at the site of drug effect with a computer-controlled infusion pump", *J Pharmacokinetics and Biopharmacokinetics* 20(2):147, 1992.
- 8 Burton ME, Shaw LM, Schentag JJ, Evans WE, "Applied pharmacokinetics and pharmacodynamics", *Principles of Therapeutic Drug Monitoring*, fourth ed. printed by Lippincott Williams & Wilkins, pp. 41–45, 2006.
- 9 Krüger-Thiemer E, "Continuous intravenous infusion and multicompartment accumulation", *European Journal of Pharmacology* 4:317–24, 1968.
- 10 Bellman R., Astrom K. On structural identifiability. *Mathematical Biosciences*. 1970;7(3):329-339.

Reference:

- 1 H.-H. Lin, C. Beck, and M. Bloom, (2008) "Multivariable lpv control of anesthesia delivery during surgery," in *Proceedings of the 2008 American Control Conference*, 825–831.
- 2 J. Grevel and B. Whiting, (1987) "The relevance of pharmacokinetics to optimal intravenous anesthesia." *Anesthesiology*, vol. 66, no. 1, 1–2.
- 3 S. BOWER and C. Hull, (1982) "Comparative pharmacokinetics of fentanyl and alfentanil," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 54, no. 8, 871–877.

- 4 B. Marsh, M. White, N. Morton, and G. Kenny, (1991) "Pharmacokinetic model driven infusion of propofol in children," *British journal of anaesthesia*, vol. 67, no. 1, 41–48.
- 5 G. Betzien, B. Kaufmann, B. Schneider, and W. Ritschel, (2016) "Kinpak—a new program package for standardized evaluation of kinetic parameters." *Arzneimittel-Forschung*, vol. 35, no. 1, 14–20, V. 1759, 020037.
- 6 Panchenko T.V. (2007) *Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]: uchebno-metodicheskoe posobie/ pod red. Ju.Ju.Tarasevicha. – Astrahan': Izdatel'skij dom «Astrahanskij universitet», 83. (In Russian)*
- 7 Shafer SL, Gregg KM, (1992) "Algorithms to rapidly achieve and maintain stable drug concentrations at the site of drug effect with a computer-controlled infusion pump", *J Pharmacokinetics and Biopharmacokinetics* 20(2):147.
- 8 Burton ME, Shaw LM, Schentag JJ, Evans WE, (2006) "Applied pharmacokinetics and pharmacodynamics", *Principles of Therapeutic Drug Monitoring*, fourth ed. printed by Lippincott Williams & Wilkins, pp. 41–45.
- 9 Krüger-Thiemer E, (1968) "Continuous intravenous infusion and multicompartment accumulation", *European Journal of Pharmacology* 4:317–24.
- 10 Bellman R., Astrom K. *On structural identifiability. Mathematical Biosciences.* 1970;7(3):329-339.

Л.Ш. Черикбаева¹, Б.Е. Түркістан^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: Baha@mail.ru

МЕДИЦИНАЛЫҚ МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨНДЕУДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ТИІМДІ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Денсаулық сақтаудағы машиналық оқыту пациенттердің нәтижелерін жақсарту үшін Интернет заттары ұсынатын медициналық деректердің өсіп келе жатқан көлемін пайдаланады. Бұл әдістер перспективалы қолданбаларды, сондай-ақ күрделі проблемаларды қамтамасыз етеді. Машиналық оқыту үш негізгі салада қолданылады: медициналық бейнелеу, медициналық құжаттарды табиғи тілде өңдеу және генетикалық ақпарат. Бұл салалардың көпшілігі диагностикаға, анықтауға және болжауға бағытталған. Медициналық құрылғылардың үлкен инфрақұрылымы қазіргі уақытта деректерді жасайды, бірақ мұндай деректерді тиімді пайдалану үшін қолдау көрсететін инфрақұрылым жиі болмайды. Денсаулық туралы ақпараттың көптеген әртүрлі нысандарының болуы деректерді пішімдеу кезінде кейбір мәселелерді тудырады және шуды арттыруы мүмкін. Машиналық оқытудың қысқаша тарихын, денсаулық сақтаудағы осы технологияның әдістері мен қазіргі жағдайы туралы кейбір негізгі білімдер қарастырылады. Мақалада жүрек ауруларының негізінде LogisticRegression, RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, KNeighborsClassifier, GradientBoostingClassifier алгоритмдер қолданылып салыстырылды.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, медицина, алгоритмдер, BigData, жүрек аурулары.

Аннотация

Л.Ш. Черикбаева¹, Б.Е. Түркістан¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Машинное обучение в здравоохранении использует все больше медицинских данных, предоставляемых Интернетом вещей, для улучшения результатов лечения пациентов. Эти методы обеспечивают многообещающие приложения, а также сложные проблемы. Машинное обучение используется в трех основных областях: медицинская визуализация, обработка медицинских документов на естественном языке и генетическая информация. Многие из этих областей сосредоточены на диагностике, обнаружении и прогнозировании. Большая инфраструктура медицинских устройств в настоящее время генерирует данные, но часто отсутствует инфраструктура для поддержки эффективного использования таких данных. Наличие множества различных форм медицинской информации вызывает некоторые проблемы при форматировании данных и может увеличить шум. Рассмотрена краткая история машинного обучения, некоторые базовые знания о методах и текущем состоянии этой технологии в здравоохранении. В статье сравниваются алгоритмы LogisticRegression, RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, KNeighborsClassifier, GradientBoostingClassifier на основе болезней сердца.

Ключевые слова: машинное обучение, медицина, алгоритмы, BigData, болезни сердца.

Abstract

APPLICATION AND RESEARCH OF EFFECTIVE MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN MEDICAL DATA PROCESSING

Cherikbayeva L.Sh.¹, Turkistan B.Y.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Machine learning in healthcare uses an increasing amount of medical data provided by Internet of Things to improve patient outcomes. These methods provide promising applications, as well as complex problems. Machine learning is used in three main areas: medical imaging, processing medical documents in natural language, and genetic information. Many of these areas focus on diagnosis, detection and prognosis. The large infrastructure of medical devices currently generates data, but there is often no infrastructure to support the efficient use of such data. The presence of many different forms of health information causes some problems when formatting data and can increase noise. A brief history of machine learning, some basic knowledge about the methods and current state of this technology in health care are considered.

The article compares LogisticRegression, RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, KNeighborsClassifier, GradientBoostingClassifier algorithms based on heart disease.

Keywords: machine-learning, medicine, algorithms, BigData, heart disease.

Кіріспе

Денсаулық сақтау саласындағы цифрлық технологиялардың пайда болуы қолдануда да, практикалық жағынан да үздіксіз қиындықтармен сипатталады. Өртүрлі денсаулық сақтау жүйелерін біріктіру баяу болды және әлемнің көптеген бөліктерінде толық интеграцияланған денсаулық сақтау жүйесін қабылдау орындалмады [1]. Адам биологиясының тән табиғаты мен күрделілігі, сондай-ақ жекелеген пациенттер арасындағы әртүрлілік ауруларды диагностикалау мен емдеуде адам элементінің маңыздылығын дәйекті түрде көрсетті. Дегенмен, цифрлық технологиялардағы жетістіктер денсаулық сақтау мамандары үшін пациенттерге ең жақсы көмек көрсетуде таптырмас құралға айналатыны сөзсіз.

Сақтау көлемін, есептеу қуатын және деректерді беру жылдамдығын қоса алғанда, деректер технологияларын жақсарту көптеген салаларда, соның ішінде денсаулық сақтауда машиналық оқытуды кеңінен қолдануға мүмкіндік берді [2]. Жеке адамға сапалы медициналық көмек көрсетудің көп нұсқалы сипатына байланысты медицинадағы соңғы тенденциялар денсаулық сақтауда жекелендірілген медицина немесе «дәлдік медицина» тәсілінің қажеттілігін атап өтті. Жекелендірілген медицинаның мақсаты диагностикалық шешімдерді табу, болжау және талдау үшін денсаулық сақтау деректерінің үлкен көлемін пайдалану болып табылады, бұл дәрігерлер өз кезегінде әрбір жеке пациент үшін жүзеге асыра алады. Мұндай деректер генетикалық немесе отбасылық ақпаратты, медициналық бейнелеу деректерін, дәрілік комбинацияларды, жалпы пациенттердің денсаулығының нәтижелерін және қолданыстағы медициналық құжаттаманың табиғи тілде өңделуін қамтиды, бірақ олармен шектелмейді [3].

Ең алдымен медициналық және биомедициналық салалардағы машиналық оқытудың (ML) ең үлкен үш қосымшасына назар аударылады. Жылдам дамып келе жатқан сала ретінде денсаулық сақтау саласында машиналық оқытудың әлеуетті қосымшаларының кең ауқымы бар, олар персоналды басқару, сақтандыру саясаты, реттеу істері және т.б. сияқты саланың қосалқы аспектілерін қамтуы мүмкін [4]. Осылайша, осы тарауда қарастырылатын тақырыптар машиналық оқытудың үш жалпы қолданбасына дейін тарылды.

Біріншісі – магниттік-резонанстық томография (МРТ), компьютерленген осьтік томография (САТ) сканерлеуі, ультрадыбыстық (АҚШ) және позитронды-эмиссиялық томография (ПЭТ) сканерлері сияқты медициналық кескіндерде машиналық оқытуды пайдалану [5]. Бұл кескіндеу әдістерінің нәтижесі әдетте радиологты түсіндіру және диагноз қоюды талап ететін кескіндер жиынтығы немесе сериясы болып табылады. ML әдістері аурудың күйін немесе күрделі мәселені көрсете алатын кескіндерді болжау және табу үшін жылдам дамып келеді.

Екіншісі – медициналық құжаттарды табиғи тілде өңдеу. Көптеген елдерде электронды медициналық жазбаларға (EMR) итермелей отырып, көптеген денсаулық сақтау мамандарының келісімі бұл процесс баяу, жалықтырады және көптеген жағдайларда толығымен бұзылады. Бұл кейде пациенттердің жалпы денсаулығының нашарлауына әкелуі мүмкін [6]. Негізгі қиындықтардың бірі - көптеген ауруханалар мен емханаларда бар физикалық медициналық жазбалар мен құжаттаманың көлемі. Түрлі пішімдеу, қолмен жазылған жазбалар және толық емес немесе орталықтандырылмаған ақпараттың көптігі электронды медициналық жазбаларды қабылдауға көшуді тиімдірек етті.

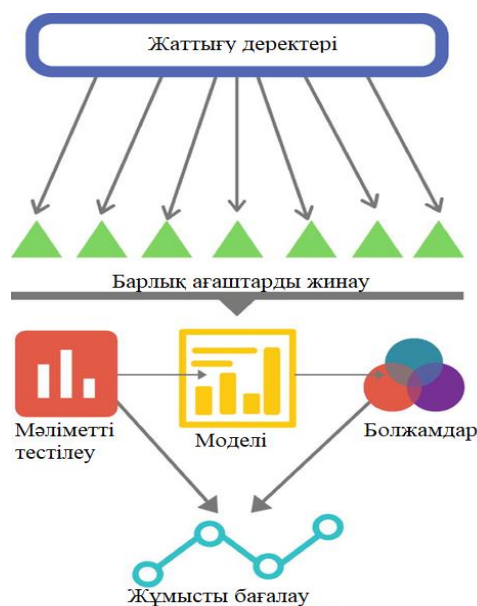
Үшінші машиналық оқыту қолданбасы ауруды болжау және аурудың себептерін табу үшін адам генетикасын пайдалануды қамтиды. Келесі ұрпақ секвенциясы (NGS) әдістерінің пайда болуымен және генетикалық деректердің жарылуымен, соның ішінде жалпы популяциялық генетикалық ақпараттың үлкен дерекқорларымен, генетиканың адам денсаулығына қалай әсер ететіні туралы маңызды ақпаратты анықтау әрекеті қазір көптеген зерттеулердің алдыңғы қатарында. Күрделі аурулардың қалай көрінетінін және генетиканың жеке адамның тәуекелін қалай арттыруы немесе азайтуы мүмкін екенін түсіну денсаулық сақтаудың алдын алуға көмектеседі [7]. Бұл дәрігерлерге күрделі ауруларды жұқтыру қаупін азайту үшін нақты пациенттерге күтім жасау жоспарын қалай бейімдеу керектігі туралы көбірек ақпарат бере алады.

Осы үш тақырыптың барлығында кездесетін ортақ мәселе - заттар интернетінен алынған денсаулық деректерін пациенттер мен дәрігер үшін түсінікті, пайдалы, сенімді ақпаратқа қалай аудару керек.

Арвиндер Диллон «Денсаулық сақтау деректерін талдаудағы машиналық оқыту» мақаласында деректердің осы алуан түрін талдау үшін болжамды жақсарту үшін бақыланатын, бақыланбайтын және күшейтілген алгоритмдер сияқты әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдері пайдаланылады, оларды дәлдік, сезімталдық, ерекшелік, дәлдік, F1 ұпайы және қисық астындағы аумақ сияқты әртүрлі өнімділік параметрлері арқылы талдауға болатынын көрсеткен [8]. Бұл мақалада машиналық оқыту алгоритмдері анықталған және клиникалық, омикалық және сенсорлық деректер сияқты денсаулық сақтау деректерінің әртүрлі түрлерін талдау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалану орындалған. Сауалнамадан денсаулық сақтау саласындағы деректердің әртүрлі түрлерін талдау үшін әртүрлі авторлар онкологиялық науқастардың өмір сүруін болжау үшін әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдері мен мүмкіндіктерді алу әдістерін ұсынғаны туралы қорытындыға келді [9].

Джусси Тохка, Маркван Гилсб «Денсаулық пен сауықтыру қосымшалары үшін машиналық оқыту алгоритмдерін бағалау» мақаласында деректерге негізделген тәсілдерді пайдалана отырып, зерттеулер мен әзірлемелердегі күш-жігердің артуы оң және теріс әсер етеді. Оң жағы, жаңа қосымшалар мен шешімдер он жыл бұрын әлі де шешуге қиын деп саналатын мәселелерге жеткізіледі. Мысалы, кескінді тану, сөйлеуді тану, жалпы табиғи тілді өңдеу және медициналық технологиядағы, әсіресе кескінді талдау және көмекші диагностика саласындағы жоғары табысты жетістіктер туралы ойланыңыз. Жағымсыз жағы – AI және машиналық оқыту сияқты әдістерге қатысты шындыққа жанаспайтын күтулер тудыратын жағдай бар [10]. Жоғары үміттерді соңғы пайдаланушылар да, тұтынушылар да, сондай-ақ ғылыми қауымдастықтың өзі де қояды. Бұл нәтижені мұқият объективті бағалау қысымға ұшырайтын міндет болатын жағдайға әкеледі. Көріп отырғанымыздай, өнімділікті дұрыс бағалау тривиальды емес (мәселе мен деректерді түсінуді талап етеді) және көбінесе қымбат (деректерді сақтау қажет) және уақытты қажет етеді. Бұл әзірлеу/жаттығу жұмысының өзіне қарағанда жиі қызықты емес және объективті тексеруден кейінгі өнімділік бағалауы әзірлеудің бастапқы кезеңінде алынған «жоғары перспективалы» нәтижелерден аз болатын жағымсыз қасиеті бар [11].

Бақыланатын оқыту әдетте белгіленген деректер деп аталатын оқу деректерін пайдаланады. Жаттығу деректерінде бір немесе бірнеше кіріс бар және «белгіленген» шығысы бар. Модельдер жаңа деректерді болжауды жақсарту мақсатында (яғни, сынақ деректерінің жинағы) жаттығу кезінде өздерін бағалау үшін осы белгіленген нәтижелерді пайдаланады. Әдетте, бақыланатын оқыту үлгілері жіктеу және регрессия алгоритмдеріне бағытталған [12]. Медицинада жіктеу мәселелері өте жиі кездеседі. Көптеген клиникалық жағдайларда науқасты диагностикалау дәрігердің белгілі бір белгілер жиынтығын ескере отырып, ауруды жіктеуді қамтиды. Регрессия проблемалары өмірлік маңызды белгілер, ауру тарихы және салмақ сияқты белгілі бір деректер жиынтығын ескере отырып, ауруханада болжалды болу ұзақтығы сияқты сандық нәтижелерді болжауға бейім (Сурет 1).



Сурет 1. Жаттығу деректері

Нәтижесі

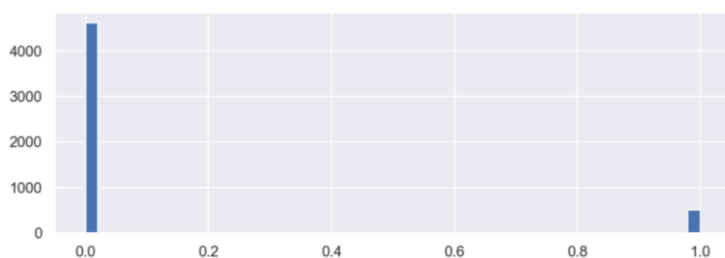
1. Деректер жиынын импорттау және зерттеу үшін жалпы деректер қоры құрылды. Деректер қорында 5000-ға жуық мәліметтер жиналды. Мәліметтер келесі айнымалаылар бойынша құрылды (2-сурет):

1. id: бірегей идентификатор.
2. жынысы: «ер», «әйел» немесе «басқа».
3. жасы: науқастың жасы.
4. гипертония: науқаста гипертония болмаса 0, гипертония болса 1.
5. жүрек_ауруы: егер науқаста жүрек ауруы болмаса 0, науқаста жүрек ауруы болса 1.
6. ever_married: «Жоқ» немесе «Иә».
7. жұмыс_түрі: "балалар", "Үкімет", "Ешқашан_жұмыс істемеген", "Жеке" немесе "Өзін-өзі жұмыспен қамтығандар".
8. тұрғын үй түрі: «Ауылдық» немесе «Қалалық».
9. орташа_глюкоза_деңгейі: қандағы глюкозаның орташа деңгейі.
10. BMI: дене салмағының индексі.
11. smoking_status: "бұрын темекі шегетін", "ешқашан темекі шекпеген", "темекі шегетін" немесе "белгісіз"*.
12. инсульт: егер науқаста инсульт болған болса 1 немесе жоқ болса 0.

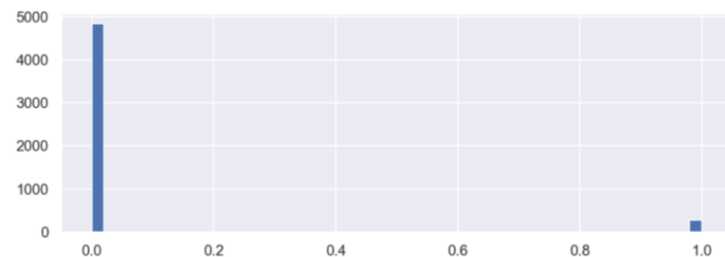
| | id | gender | age | hypertension | heart_disease | ever_married | work_type | Residence_type | avg_glucose_level | bmi | smoking_status | stroke | |
|--|------|--------|--------|--------------|---------------|--------------|-----------|----------------|-------------------|--------|----------------|-----------------|---|
| | 2461 | 35446 | Male | 73.00 | 0 | 0 | Yes | Govt_job | Rural | 208.69 | 30.0 | Unknown | 0 |
| | 449 | 6171 | Male | 6.00 | 0 | 0 | No | children | Urban | 90.60 | 16.6 | Unknown | 0 |
| | 1861 | 26830 | Female | 47.00 | 0 | 0 | Yes | Self-employed | Rural | 68.37 | 29.4 | smokes | 0 |
| | 1113 | 15418 | Female | 80.00 | 0 | 0 | Yes | Self-employed | Rural | 90.43 | 34.2 | never smoked | 0 |
| | 5015 | 71590 | Female | 5.00 | 0 | 0 | No | children | Rural | 102.04 | 18.5 | Unknown | 0 |
| | 1698 | 24256 | Male | 35.00 | 0 | 0 | Yes | Private | Rural | 108.08 | 30.6 | formerly smoked | 0 |
| | 3088 | 44676 | Male | 1.64 | 0 | 0 | No | children | Urban | 115.12 | 21.1 | Unknown | 0 |
| | 1101 | 15266 | Female | 32.00 | 0 | 0 | Yes | Private | Rural | 77.67 | 32.3 | smokes | 0 |
| | 1843 | 26389 | Female | 2.00 | 0 | 0 | No | children | Urban | 120.85 | 16.2 | Unknown | 0 |
| | 689 | 9404 | Female | 44.00 | 0 | 0 | Yes | Private | Rural | 107.41 | 47.3 | never smoked | 0 |

Сурет 2. Деректер қоры

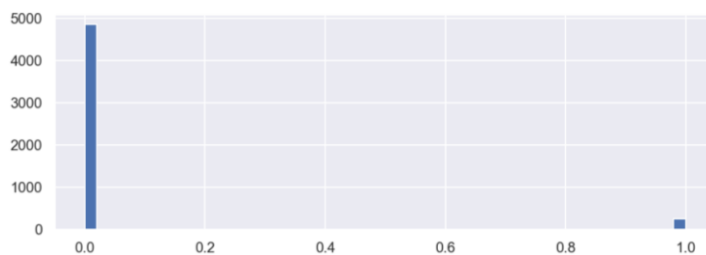
Медициналық мәліметтерді өңдеуде гипертонияның онымен таралуы, жүрек ауруларының таралуы, инсульт аурулары келесі суреттерде көрсетілген (Сурет 3, 4, 5):



Сурет 3. Гипертония деректері

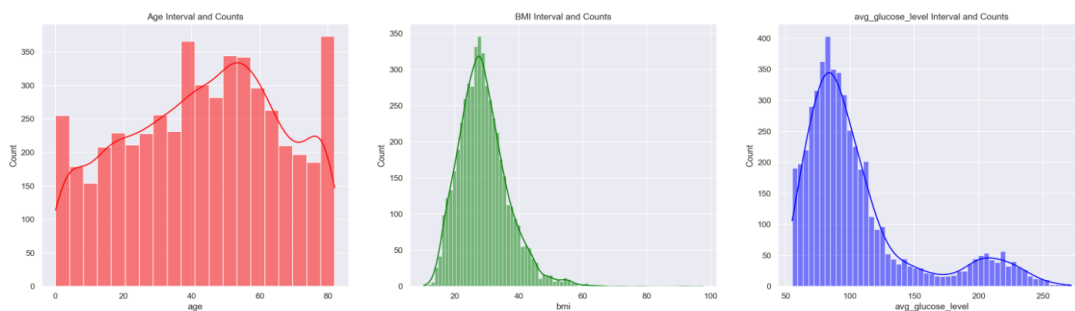


Сурет 4. Жүрек ауруларының деректері



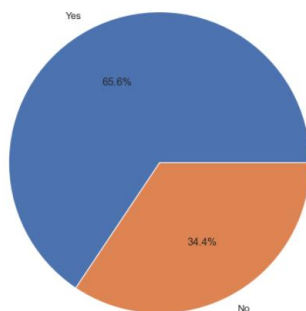
Сурет 5. Инсульт ауруларының деректері

6-суретте жас аралығын, BMI аралығы және avg_glucose_level аралық арқылы санау диаграмма түрінде көрсетілген.



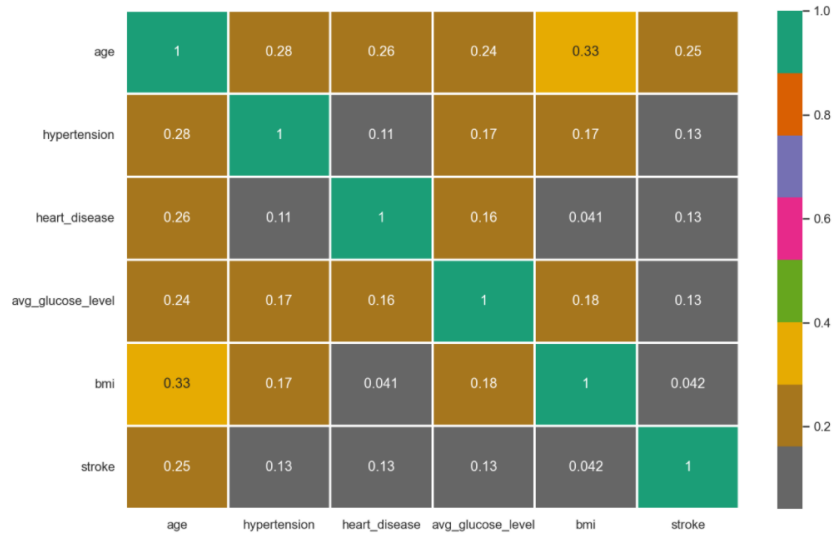
Сурет 6. Сандар

Жыныс бойынша инсульттің орташа көрсеткіші. Ер адамдарда инсульт жиілігі жоғары. Инсульт бойынша тұрмыс құрғандар мен құрмағандардың айырмашылығы 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7. Инсульт деректерін бөлу

Корреляция бір немесе бірнеше айнымалылардың бір-бірімен байланысын түсіндіреді. Бұл айнымалылар мақсатты айнымалыны болжау үшін пайдаланылған кіріс деректер мүмкіндіктері болуы мүмкін (Сурет 8).

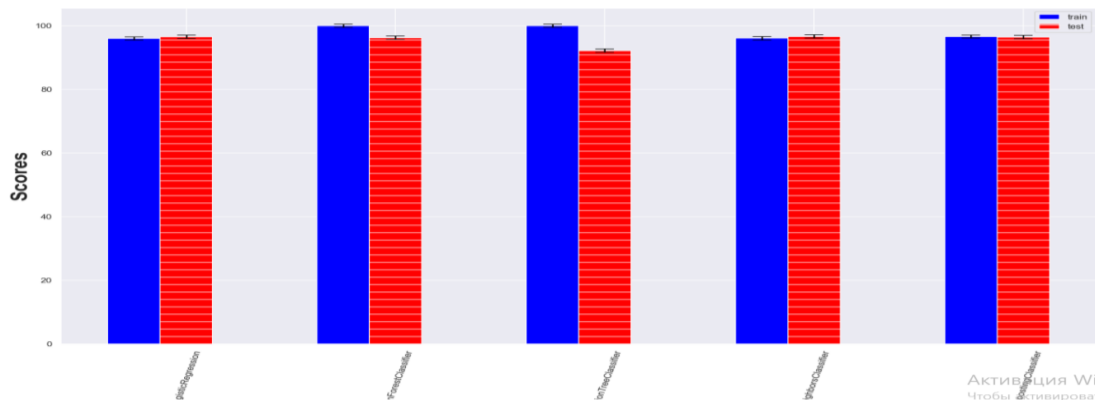


Сурет 8. Корреляция мәндері

Модельдерді өңдеу кезінде пайдаланылған алгоритмдер:

1. LogisticRegression;
2. RandomForestClassifier;
3. DecisionTreeClassifier;
4. KNeighborsClassifier
5. GradientBoostingClassifier.

Модельдерді оқыту және тестілеу кезеңі 9-суретте көрсетілген.



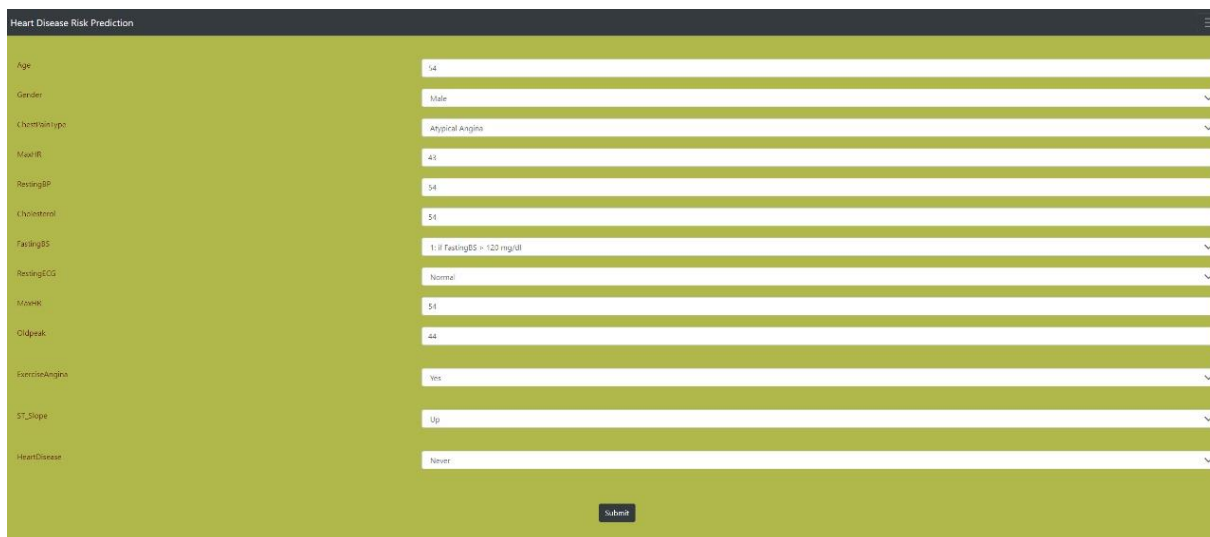
Сурет 9. Модельдерді оқыту және тестілеу

Модельдерді оқыту және тестілеу кезеңінде медициналық мәліметтерді өңдеуде машинаны оқытудың тиімді алгоритмдерді пайдаланудың нәтижелері 1-кестеде көрсетілген:

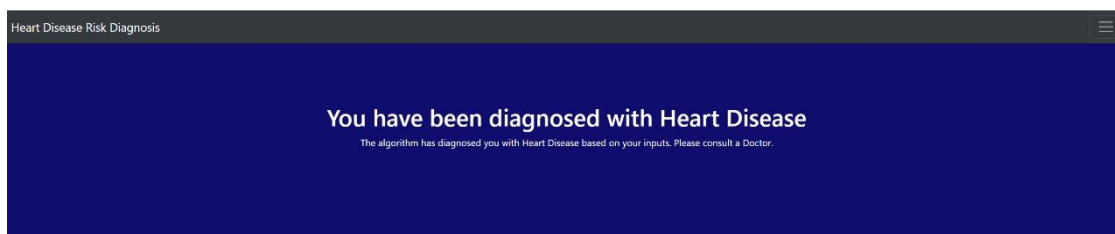
Кесте 1. Машиналық оқыту алгоритмдерінің нәтижесі

| Алгоритмдер | Нәтижелері |
|----------------------------|-------------------|
| LogisticRegression | 96.52432969215492 |
| RandomForestClassifier | 96.22641509433963 |
| DecisionTreeClassifier | 92.15491559086395 |
| KNeighborsClassifier | 96.62363455809336 |
| GradientBoostingClassifier | 96.42502482621649 |

Осы нәтижелерге сүйене отырып KNeighborsClassifier алгоритмі салыстырмалы түрде жақсы нәтиже көрсетті. Машиналық оқытудың негізінде Flask фреймворкы арқылы электрондық веб-сайт әзірленді (Сурет 10, 11).



Сурет 10. Веб-сайттың көрінісі



Сурет 11. Жүрек ауруларын енгізгендегі шығатын нәтиже

Қорытынды

Денсаулық сақтау саласында машиналық оқыту сияқты цифрлық технологияларды қолдану қызықты дәуірге енуде. Информатика, биология, инженерия, химия және информатиканың соқтығысуы күрделі аурулардың пайда болуына ықпал ететін тұқым қуалайтын және қоршаған орта факторлары туралы білімімізді тездетеді. Қатерлі ісік диагнозын болжауда көшірме санының вариациясын пайдалану әлеуеті қызықты. Тұқым қуалайтын қатерлі ісік қаупіне ықпал ету үшін геномдық ландшафттың өзара байланысын түсінудің түсіндірілетін әдісін жасау үшін машиналық оқытуды пайдалану пациенттің денсаулығын жеке деңгейде жақсартуы мүмкін. Кескінді талдау көптеген диагностикалық әрекеттердің негізгі бөлігі болып табылады және радиологиялық диагностиканың дәлдігін жақсартуды жалғастырады. Қатерлі массаларды анықтау және бар диагнозды растау және тексеру қателерді азайта отырып, пациенттің нәтижелерін жақсартуға мүмкіндік береді. Жалпы жасалынған жұмыстар бойынша бұл бағдарлама толығымен жасалынды. Жұмыс аясында келесі міндеттер шешілді:

1. Медициналық деректердің мәселесі зерттелді, оны шешудің тәсілдері талданды.
2. Жүрек ауруларының негізінде мәліметтер қоры құрылды құрылды.
3. LogisticRegression, RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, KNeighborsClassifier, GradientBoostingClassifier алгоритмдері қарастырылды және жүрек ауруларын анықтағанда шешімдері салыстырылды.
5. Әдістердің тиімділігіне тестілеу жүргізілді.

Бұл зерттеу ҚР Білім және ғылым министрлігі №BR10965172 ғылыми жобасы аясында орындалды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Аднан Н., Нордин Шахрина М.д., Рахман И., Нур А. Влияние передачи знаний на принятие фермерами решений в отношении устойчивых методов ведения сельского хозяйства. World J Sci Technol Sustain Dev. 2018.

- 2 Чен Т., Гестрин К., Xgboost: Масштабируемая система повышения дерева, в: Труды 22-й Международной конференции Acta Sigkdd по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных, стр. 785–794.
- 3 Фукусима К. Когнитрон: Самоорганизующаяся многослойная нейронная сеть. Биологическая кибернетика. 1975;20(3-4):121-136
- 4 Датта, С., Баруа, Р., Дас, Дж. Применение искусственного интеллекта в современной системе здравоохранения. Недавнее использование этого природного полимера в альгинатах; IntechOpen: Риека, Хорватия, 2020 г.
- 5 Raheja K, Dubey A, Chawda R. Анализ данных и его важность в здравоохранении. Int Computer Trends and Technology J. 2018;48:176-180.
- 6 Коциантис С.Б. Контролируемое машинное обучение: обзор методов классификации. Информатика (Люблина). 2007;31(3):249-268
- 7 Сениор А.В., Эванс Р., Джампер Дж., Киркпатрик Дж., Сифре Л., Грин Т. и другие. Улучшенное предсказание структуры белка с использованием потенциалов глубокого обучения. Природа. 2020; 577 (7792): 706–10.
- 8 Сринивасан С., Джонсон Н.Т., Коркин Д. Гибридный подход с глубокой кластеризацией для надежного профилирования типов клеток с использованием данных секвенирования РНК одной клетки. БиоРксив. 2019:511626.
- 9 Букерш А., Ван Дж. Модели прогнозирования трафика на основе машинного обучения для интеллектуальных транспортных систем. Компьютерная сеть. 2020;181
- 10 Шувал, Р.; Фейн, Дж. А.; Савани, Б.; Мохти, М.; Наглер, А. Машинное обучение и искусственный интеллект в гематологии. бр. Дж. Гематол. 2021, 192, 239–250.
- 11 А.С. Лундерволд, А. Лундерволд Обзор глубокого обучения в медицинской визуализации с акцентом на МРТ Z. Med. Phys., 29 (2019), стр. 102-127
- 12 Фридман Дж.Х. Аппроксимация жадной функции: машина повышения градиента. Анналы статистики. 2001;29(5):1189-1232
- 13 Панда Б., Маджи Б. Новое улучшенное предсказание структурного класса белка с использованием глубокой рекуррентной нейронной сети. Эволюционный интеллект. 2018;1-8.
- 14 Фудзиёси Х., Хиракава Т., Ямасита Т. Распознавание изображений на основе глубокого обучения для автономного вождения. Рез. IATSS. 2019;43(4):244–52.
- 15 К. Амбруаз, Г.Дж. McLachlan Предвзятость отбора при извлечении генов на основе данных экспрессии генов на микрочипах Proc. Natl. akad. nauch. Blok. SHtaty Ameriki, 99 (2002), стр. 6562-6566.

References:

- 1 Adnan N., Nordin SHahrina M.d., Rahman I., Nur A. (2018) Vliyanie peredachi znaniy na prinyatie fermerami reshenij v otnošenii ustojchivyh metodov vedeniya sel'skogo hozyajstva [Impact of knowledge transfer on farmers' decision-making on sustainable agricultural practices]. World J Sci Technol Sustain Dev. (In Russian)
- 2 T. CHen, K. Gestrin, Xgboost: Mashtabiruemaya sistema povysheniya dereva [Scalable Tree Enhancement System]. v: Trudy 22-j Mezhdunarodnoj konferencii Acta Sigkdd po obnaruzheniyu znaniy i intellektual'nomu analizu dannyh. 785–794. (In Russian)
- 3 Fukusima K. Kognitron: (1975) Samoorganizuyushchayasya mnogoslajnaya nejronnaya set'. Biologicheskaya kibernetika [Self-organizing multi-layered neural network. Biological cybernetics]. 20(3-4):121-136. (In Russian)
- 4 Datta, S., Barua, R., Das, Dzh. (2020) Primenenie iskusstvennogo intellekta v sovremennoj sisteme zdavoohraneniya. Nedavnee ispol'zovanie etogo prirodnogo polimera v al'ginatah [The use of artificial intelligence in the modern healthcare system. Recent use of this natural polymer in alginates]. IntechOpen: Rieka, Horvatiya. (In Russian)
- 5 Raheja K, Dubey A, Chawda R. (2018) Analiz dannyh i ego vazhnost' v zdavoohranenii [Data analysis and its importance in healthcare]. Int Computer Trends and Technology J. 48:176-180. (In Russian)
- 6 Kociantis S.B. (2007) Kontroliruemoe mashinnoe obuchenie: obzor metodov klassifikacii [Supervised machine learning: an overview of classification methods]. Informatika (Lyublyana). 31(3):249-268. (In Russian)
- 7 Senior A.V., Evans R., Dzhampier Dzh., Kirkpatrik Dzh., Sifre L., Grin T. i drugie. (2020) Uluchshennoe predskazanie struktury belka s ispol'zovaniem potencialov glubokogo obucheniya [Improved prediction of protein structure using deep learning potentials]. Priroda. 577 (7792): 706–10. (In Russian)
- 8 Srinivasan S., Dzhonson N.T., Korkin D. (2019) Gibridnyj podhod s glubokoj klasterizaciej dlya nadezhnogo profilirovaniya tipov kletok s ispol'zovaniem dannyh sekvenirovaniya RNK odnoj kletki [A hybrid approach with deep clustering for reliable cell type profiling using single cell RNA sequencing data] BioRksiv. 511626. (In Russian)
- 9 Bukersh A., Van Dzh. (2020) Modeli prognozirovaniya trafika na osnove mashinnogo obucheniya dlya intellektual'nyh transportnyh sistem [Traffic forecasting models based on machine learning for intelligent transport systems.]. Komp'yuternaya set'. 181. (In Russian)

10 SHuval, R.; Fejn, Dzh. A.; Savani, B.; Mohti, M. ; Nagler, A. (2021) *Mashinnoe obuchenie i iskusstvennyj intellekt v gematologii [Machine learning and artificial intelligence in hematology] br. Dzh. Gematol. 192, 239–250. (In Russian)*

11 A.S. Lundervold, A. Lundervol'd (2019) *Obzor glubokogo obucheniya v medicinskoj vizualizacii s akcentom na MRT [Overview of Deep Learning in Medical Imaging with an emphasis on MRI] Z. Med. Phys., 29, 102-127. (In Russian)*

12 Fridman Dzh.H. (2001) *Approksimaciya zhadnoj funkicii: mashina povysheniya gradienta [Approximation of a greedy function: a gradient boosting machine]. Annaly statistiki. 29(5):1189-1232. (In Russian)*

13 Panda B., Madzhi B. (2018) *Novoe uluchshennoe predskazanie strukturnogo klassa belka s ispol'zovaniem glubokoj rekurrentnoj nejronnoj seti [A new improved prediction of the structural class of a protein using a deep recurrent neural network]. Evolyucionnyj intellekt. 1-8. (In Russian)*

14 Fudziyosi H., Hirakava T., YAmasita T. (2019) *Raspoznavanie izobrazhenij na osnove glubokogo obucheniya dlya avtonomnogo vozheniya [Deep learning-based image recognition for autonomous driving] Rez. IATSS. 43(4):244–52. (In Russian)*

15 K. Ambrucz, G.Dzh. McLachlan (2002) *Predvzyatost' otbora pri izvlechenii genov na osnove dannyh ekspressii genov na mikrochipah [Selection bias in gene extraction based on gene expression data on microarrays] Proc. Natl. akad. nauch. Blok. SHtaty Ameriki, 99. 6562-6566. (In Russian)*

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

МРНТИ 14.01.77
УДК 004.415

<https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.23>

Б.С. Абилмажинова^{1*}, А.Т. Байбактина², А.К. Муслимова³

¹Қазақстан қатынас жолдар университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қ. Жұбанов ат. Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: a_bayap_c@mail.ru

МАТЛАВ ЖҮЙЕСІНДЕ ТЕСТ САПАСЫН МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИКАЛЫҚ ӨНДЕУ

Аңдатпа

Мақалада тест тапсырмаларының сапасы және оның білімгердің білім деңгейін бағалау шынайылығына әсері қарастырылады. Заман талабына сай аралас оқыту форматында білімгердің алған білім деңгейін бағалауда тест сапасын арттыру өзекті мәселе. Сонымен қатар, мақала барысында заманауи тест құру теориясының ерекшелігіне, және оның классикалық теориядан айырмашылығына тоқталамыз. Жалпы алғанда тест сапасын ғылыми тұрғыдан негіздеу процессін үш кезеңге бөліп қарастыруға болады. Бірінші кезең – эмпирикалық мәліметтерді жинау, екінші кезең – эмпирикалық мәліметтерді өңдеу, үшіншісі – өңдеу нәтижесін тест сапасының деңгейін көтеру мақсатында талдау. Мақаланың басты мақсаты – эмпирикалық мәліметтерді талдау арқылы тест сапасын анықтау, және оны жақсарту жолдарын көрсету. Бұл мақсатқа математика – статистикалық аппаратты, MatLab пакетінің функционалдық мүмкіндіктерін қолдана отырып қол жеткіздік. MatLab – техникалық есептеулерді, визуалдауды, программалауды жүзеге асыратын жоғарғы өнімді, интерактивті жүйе. Жүйесінің жұмысы матрица, векторларға негізделгендіктен, саналуан есептерді программалау тілдерін қолданып есептеулерден әлдеқайда жылдам жүзеге асырады. Ал зерттеу әдісі ретінде статистикалық анализ қолданылды. Аралық нәтижелерді талдау бірнеше кесте, диаграммалар арқылы көрсетілді.

Түйін сөздер: эмпирикалық мәлімет, визуалдау, матрица, гистограмма, қалыпты үлестірілім, орта мән, дисперсия, стандартты ауытқу.

Аннотация

Б.С. Абилмажинова¹, А.Т. Байбактина², А.К. Муслимова³

¹Казахстанский университет путей сообщения, г. Алматы, Казахстан

²Актюбинский региональный университет им.К. Жубанова, г. Актөбе, Казахстан

³Казахский национальный университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАЧЕСТВА ТЕСТА С ПОМОЩЬЮ МАТЛАВ

В статье рассматриваются качество тестовых заданий и как оно влияет на объективность оценки уровня знаний обучающихся. Повышение качества теста при оценке знаний обучающихся в современном формате смешанного обучения является актуальным. В статье рассмотрены особенности современной теории создания тестов, ее отличие от классической теории. В целом, процесс научного обоснования качества теста, можно разделить на три этапа. Первый этап – сбор эмпирических данных, второй – обработка эмпирических данных, третий – анализ результатов обработки с целью повышения качества теста. Основная цель статьи, через анализ эмпирических данных определить качество теста, способы для его улучшения. Цель была достигнута при использовании математико-статистического аппарата и функциональных возможностей MatLab. MatLab – интерактивная система для технических вычислений, визуализации и программирования. В ней основным элементом данных является массив, что позволяет решать различные задачи в несколько раз быстрее, чем при написании программ с использованием языков программирования. В качестве метода исследования применялся статистический анализ. Анализ промежуточных результатов был представлен таблицами, диаграммами.

Ключевые слова: эмпирические данные, визуализация, матрица, гистограмма, нормальное распределение, среднее значение, дисперсия, стандартное отклонение.

Abstract

MATHEMATICAL AND STATISTICAL PROCESSING OF TEST QUALITY USING THE MATLAB SOFTWARE

Abilmazhinova B. S.¹, Baibaktina A. T.², Muslimova A. K.³

¹Kazakh University of Transport Communication, Almaty, Kazakhstan

²Aktobe regional University named after K. Zhubanov. Aktobe, Kazakhstan

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

This article discusses the quality of test tasks and how it affects the objectivity of students' knowledge assessment. Improving the quality of the test in measuring the knowledge of students in the modern format of blended learning is essential. In the course of the article were considered features of modern theory of test construction, its difference from the classical theory. In general, the process of scientific explanation of test quality can be divided into three steps. The first step is the collection of empirical data, the second - processing of empirical data, and the third - analysis of processing results in order to improve the quality of the test. The main purpose of the article is to determine the quality of the test through the analysis of empirical data, methods to improve it. The goal was achieved by using mathematical and statistical tools and functional capabilities of MatLab. MatLab is an interactive system for technical calculations, visualization and programming. It has a main data element as an array, which allows solving various tasks several times faster than writing programs using programming languages. Statistical analysis was used as the research method. Several tables, diagrams, presented analysis of mid-term results.

Keywords: empirical data, visualization, matrix, histogram, normal distribution, middle value, dispersion, standard deviation.

Кіріспе

Дәстүрлі форматта білім беру жүйесінде білімгердің алған білім сапасын анықтау үшін дәстүрлі емтиханға басымдық берілген еді [1]. Қазіргі заман талабына сай білім беру процесінде аралас оқыту әдісі, яғни дәстүрлі және қашықтан оқыту форматтары қоданылып келеді. Осы орайда әртүрлі технологиялармен қатар [2] тест технологиясының да ролі артып отыр. Білімгердің білім деңгейін бағалау үшін дәстүрлі жүйеге (емтихан) қарағанда тестілеу әдісіне басымдық беріліп келеді. Екеуі де бір мақсатты көздейтіндігіне қарамастан айырмашылығы бар. Өткізу формасы, қойылатын баға сапасы жағынан дәстүрлі әдіске қарағанда тестілеу әдісі келесі сұраққа жауап береді: әр білімгердің білім деңгейін бағалау қаншалықты дәл және оған қаншалықты сенуге болады? Сонымен қатар тестілеу әдісінде де қандай да бір қателіктер болады, және олар білімгердің білім деңгейін нақты бағалауға кедергі келтіретіні сөзсіз. Бұндай қателіктердің болуы білімгерге қойылатын баға салыстырмалы түрде екендігін білдіреді, бірақ қателік аз шама болғандықтан тестілеу әдісі жеткілікті болып табылады.

Классикалық тест теориясынан басқа, қазіргі кезде заманауи тест жасаудың теориясы (IRT – Item Response Theory) және сол теория аясында мәліметтерді өңдеу әдістері бар [3]. Ол әдістерде білімгердің латенттік параметрі мен тест тапсырмаларының параметрлерін бағалау математика-статистикалық моделдері арқылы жүргізіледі, және модель айнымалылары үздіксіз функция ретінде қарастырылады. Классикалық тест теориясынан ерекшелігі – IRT жеткілікті күрделі математика-статистикалық аппаратты, қымбат компьютерлік технологияны қолдануды, арнайы программалық өнімдерді жасауды қажет етеді. Бұл IRT аппаратын қолдануды қиындатады, бірақ классикалық тест теориясының құндылығын арттырмайды, керісінше эмпирикалық тест нәтижелерінен толық ақпарат алынбауына, тиімсіз тестерді жасауға, білімгерді тиімсіз бағалауға алып келеді. Сондықтан икемді тәсілдердің бірі екі теорияны – классикалық тест теориясы мен заманауи тест жасаудың теориясын – бірге қолдану.

Бірінші кезеңде классикалық тест теориясының қарапайым математика-статистикалық аппаратымен эмпирикалық мәліметтерді өңдеу. Екінші кезеңде IRT аппараты арқылы тест тапсырмасының сапасын тереңірек талдау, параметрлерін объективті бағалау.

Зерттеу әдіснамасы

Классикалық тест теориясының қарапайым математика-статистикалық аппаратын қолданып, тест сапасын арттыру мақсатына сәйкес әдіс- шараларды келесі жоспар бойынша жүзеге асырамыз:

1. Эмпирикалық мәліметтерді ыңғайлы күйге келтіру, визуалдау
2. Эмпирикалық мәліметтерді арнайы программалық жабдықпен өңдеу.
3. Эмпирикалық мәліметтердің өңделген нәтижесіне статистикалық анализ (талдау) жасау.

Мәліметтерді жинау кезеңінде тесті орындау процедурасын қамтамасыз ететін арнайы шаралар қабылдау керек. Олар: тесті орындау инструкциясы, тест өткізу уақытын тиімді таңдау, сапалы материалдар, сәйкес орта. Бұдан басқа да факторлар тест нәтижесіне әсер етуі мүмкін. Жалпы алғанда эмпирикалық мәліметтердің шынайы болуы үшін тесті орындау инструкциясының білімгерге де, тест алушыға да дұрыс жасалуы маңызды [4, 5]. Білімгерге арналған инструкция әртүрлі болуы мүмкін, ол тест жасау мақсатына байланысты. Эмпирикалық мәліметтерді алған соң, жоспар бойынша, математика-статистикалық өңдеу кезеңдеріне көшеміз. Ол тест нәтижесін бағалау ережесін таңдаудан басталады. Әдетте дұрыс жауапты 1 – балл, дұрыс емес жауапты 0 – балл арқылы бағалау қолданылады. Бағалау ережесі арқылы алынған эмпирикалық мәліметтерді өңдеу жеңілдігі үшін матрицаға жинақтаймыз және MatLab жүйесін қолданамыз [6, 7]. MatLab – техникалық есептеулерді, визуалдауды, программалауды жүзеге асыратын жоғарғы өнімді, интерактивті жүйе. Оның негізгі элементі массив болғандықтан, Си т.б. программалау орталарына қарағанда матрица (вектор) қолданылатын саналуан есептерді бірнеше есе жылдам шығарады. Сонымен қатар математикалық физика, экономика, математиканың түрлі бөлімдері, жобалау т.б. мәселелерін шешу бағытындағы 60-тан астам функциялар мен командалар жиынтығын қамтиды. MatLab статистикалық мәліметтер үшін бағанға бағытталған әдісті қолданады. Әр баған айнымалыны берсе, әр жол бақылау нәтижесін береді. Яғни, x_{ij} - матрица элементі i -ші білімгердің j -ші тапсырмасын орындау нәтижесін анықтайды, онда

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{егер } i - \text{ші білімгердің } j - \text{ші тапсырмаға жауабы дұрыс болса} \\ 0, & \text{егер } i - \text{ші білімгердің } j - \text{ші тапсырмаға жауабы дұрыс емес болса} \end{cases} \quad (1)$$

Иллюстрация жеңіл болу үшін шағын матрица (11x10) алайық (1-ші кесте), 11 білімгер 10 тапсырмадан тұратын тестке жауап берсін делік. Бірақ барлық формулалар мен есептеулерді білімгерлердің кез келген топтамасына, тест тапсырмаларының кез келген санына қолдануға болады.

Кесте 1. Тест нәтижесінің матрицасы

| i - білімгердің нөмірі | j - тапсырма нөмірі | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Матрицадан тек 0-ден немесе тек 1-ден тұратын жолдар мен бағандар бар болса алып тастаймыз. 10-шы білімгерге тест жарамсыз, себебі оның деңгейін анықтау үшін тест тапсырмасын жеңілдету керек. 11-ші білімгерге де тест жарамсыз, себебі оған тапсырма өте жеңіл. Оның деңгейін анықтау үшін тестке курс бойынша қиын тапсырма енгізу керек. 10, 11-ші жолдарды алып тастаймыз. Ал 0-ден тұратын баған жоқ. Әр білімгердің жеке баллын, әр тапсырманың дұрыс жауаптар санын анықтайық. Баған бойынша әр тапсырманың дұрыс жауаптарын R_j , жол бойынша әр білімгердің жеке балл санын Z_i жазып аламыз (2-ші кесте).

Нормалы-бағытталған тестерде нәтиженің 70% үлестірілімнің ортасында орналасады, қалған, шамамен, 5% нашар және 5% мықты жауап нәтижелерінің сенім коэффициенті 0, себебі олар білімгердің нақты білім деңгейін үлкен қателікпен береді.

Кесте 2. Білімгерлердің жеке балдары мен тест тапсырмаларының дұрыс жауап саны

| <i>i</i> - білімгердің нөмірі | <i>j</i> - тапсырма нөмірі | | | | | | | | | | Жеке балл Z_i |
|-------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------------|
| | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 3 | 8 | 9 | 10 | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 8 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Дұрыс жауап саны R_j | 8 | 7 | 4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | |

Сондықтан кәсіби тұрғыдағы тест қызметтері өңдеу кезеңінде үлестірілімнің соңғы жағындағы нәтиженің 3-5% лақтырып тастайды. Тест авторы, егер тесты барлық топ жақсы орындаса, өзінің жұмысын жақсы бағалайды. Бұл қате және қауіпті үрдіс. Тест авторының кәсібилік деңгейі жоқ.

Зерттеу нәтижелері

MatLab пакетінің көмегімен эксперимент нәтижелерін (2-ші кесте) өңдейік. Орта мән, дисперсия, стандартты ауытқу шамалары анықталып, эмпирикалық үлестірім графигі тұрғызылады. Тест нәтижесінің орналасуын түсіндіру үшін гистограмма кескінін таңдаған дұрыс. Себебі эмпирикалық үлестірімді теориялық қалыпты үлестіріммен көрнекі түрде салыстыру ыңғайлы. Қалыпты үлестірілім заңдылығын Гаусс үлестірілімі функциясы арқылы аламыз. Қарапайым Гаусс функциясының MatLab жүйесінде берілуі:

$$y = \text{gaussmf}(x, \text{params}) \quad (2)$$

мұндағы x – функция анықталған негізгі жиын, params – $[\sigma \ c]$ ретімен берілген Гаусс үлестірілімі функциясының параметрлері.

```
% M – файл арқылы эмпирикалық мәліметтерді енгізу
Function magik=magik(A)
A = [...
    1 1 0 0 1 1 1 0 0 0; 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0; 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
    1 1 1 0 1 1 1 0 0 0; 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0; 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0; 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0;
    1 1 0 1 1 1 0 0 0 0];
Magik = A;
end
% матлаб программасы
>> A = magik;
>> R = sum(A); Z = sum(A');
% орта мәнді, дисперсияны, стандартты ауытқуды, моданы есептеу
>> m = mean (Z); D = var (Z); sigma = std (Z); M=mode(Z);
% салыстырмалы қателікті есептеу
>> x=0:0.1:10;
% орта мән бойынша
>> Dm=abs((m-mean(x))/mean(x))*100;
% дисперсия бойынша
>> Dd= abs((D-var(x))/var(x))*100;
% орташа квадраттық ауытқу бойынша
>> Ds= abs((m-std(x))/std(x))*100;
>> fprintf ('\n орта мән: m = %g%% \n ', m);
>> fprintf ('\n дисперсия: D = %g%% \n ', D);
>> fprintf ('\n стандартты ауытқу: sigma = %g%% \n ', sigma);
>> fprintf ('\n мода: M = %g%% \n ', M)
>> fprintf ('\n математикалық күту бойынша салыстырмалы қателік: Dm = %g%% \n ', Dm);
```

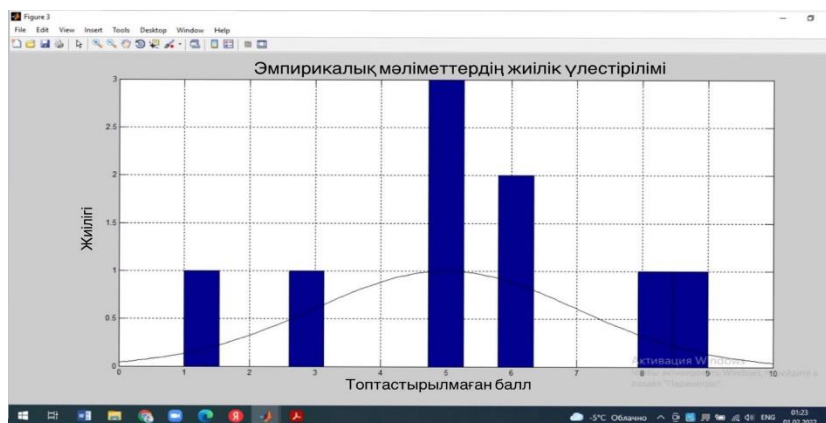
```
>> fprintf('\n дисперсия бойынша салыстырмалы қателік: Dd = %g%% \n ', Dd);
>> fprintf('\n стандартты ауытқу бойынша салыстырмалы қателік: Ds = %g%% \n ', Ds);
% жеке балл гистограммасын тұрғызу
>> fig1=figure(1);
>> hist(Z, 15); grid;
>> set(gca, 'FontName', 'Arial Cyr');
>> xlabel('Топтастырылмаған балл '); ylabel('Жиілігі');
>> title('Эмпирикалық үлестірілім ', 'FontSize', 14);
>> hold on
>> y=gaussmf(x, [2 5]);
>> line=plot(x,y,'k-');
```

Программаның орындалу нәтижесі:

- отра мән: $m = 5.3333$
- дисперсия: $D = 5.75$
- стандартты ауытқу: $\sigma = 2.3979$
- мода: $M = 5$
- математикалық күту бойынша салыстырмалы қателік: $Dm = 6,66667\%$
- дисперсия бойынша салыстырмалы қателік: $Dd = 33.0227\%$
- стандартты ауытқу бойынша салыстырмалы қателік: $Ds = 18.160\%$

Талқылау

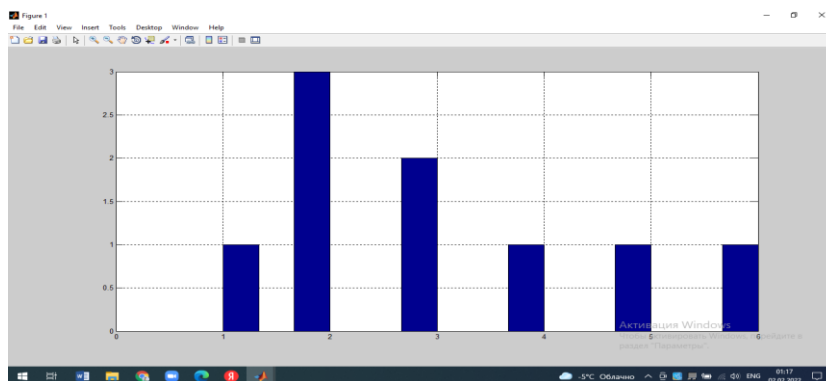
Өндеу процессінде алынған осы нәтижелер арнайы түсіндіру мен ойлануды қажет етеді. Орталық тенденция өлшемдері орта мәні, дисперсия, стандартты ауытқу [8, 9] тест сапасын бағалауға көмектеседі, егер тестің апробациясы білімгерлердің репрезентативті іріктемесінде жүргізілсе. Әдетте тест сапалы, нормативті болып саналады, егер баллдың орта мәні үлестірілімнің ортасында, ал қалған мәндері орта мәнің айналасында қалыпты үлестірілім заңына сай шоғырланса. Яғни шамамен 70% ортасында, ал қалғаны үлестірілім шеттеріне қарай азая берсе. Егер тест нәтижесі қалыпты үлестірілімге жақын мән берсе, онда баллдың орта мәні (математикалық күту) тесті орындаудың өкілетті нормасы ретінде қабылданады. Тест нәтижесін өндеу барысында алынған 1-суреттен нәтиже қалыпты үлестірілімге жақын екендігін байқауға болады. Қалыпты үлестірілім унимодальді және симметриялы болғандықтан оның модасы мен орта мәні тең. Берілген эмпирикалық мәліметтер үшін, алынған нәтиже бойынша, мода $M = 5$, ол жиі кездесетін тест нәтижесі арқылы анықталады. Біздің жағдайда, мода мен орта мән $m = 5.3333$ жуық шама.



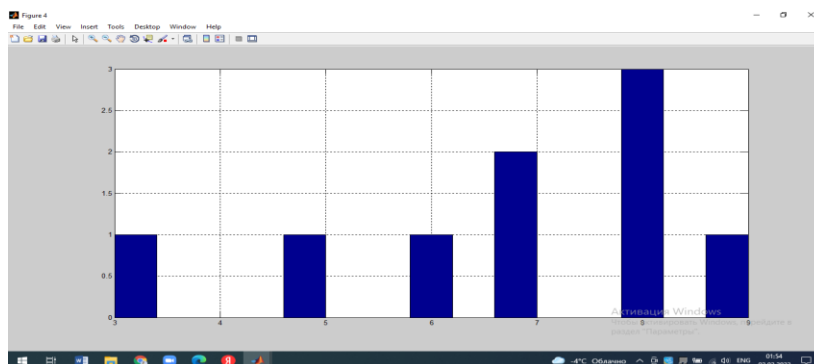
Сурет 1. Эмпирикалық мәліметтердің үлестірілім гистограммасы

Ал симметрияның болмауы моданың орта мәннен ауытқуына әкеледі. Егер эмпирикалық мәліметтерден бимодальды үлестірілім алынса (2, 3 - суреттер), онда орта мән тест орындауының нормасы бола алмайды. Яғни тест дұрыс құрастырылмаған. Орта мәнің солға немесе оңға ауытқуы тест тапсырмаларының тым жеңіл немесе тым қиын болғанын көрсетеді. Сонымен қатар эмпирикалық мәліметтердің орта мәнің айналасында шоғырлану ерекшелігі де тест сапасы жайлы негізгі сипаттама алуға көмектеседі. Әр баллдың жекеленген мәндері орта мәнің

айналасында тығыз шоғырлануы мүмкін, және керісінше. Сондықтан тест баллының өзгерісін бағалау үшін дисперсия мен стандартты ауытқуды да қолданады [10].



Сурет 2. Қиын тест баллы бойынша үлестірілім гистограммасы



Сурет 3. Оңай тест баллы бойынша үлестірілім гистограммасы

Дисперсияны анықтау әр көрсеткіштің орта мәннен ауытқуына негізделген. Нәтиженің әлсіз вариациясы тест сапасының төмендігін білдіреді. Яғни, төмен дисперсия білімгерлердің топтағы дайындық деңгейі бойынша бір бірінен айырмашылығы аз. Ал жоғарғы вариация болуы да (барлық білімгер орындалған тапсырма саны бойынша ерекшеленеді) тесті жағымсыз салдарға әкеледі. Бұл тесті қайта құрастыру керек екендігін білдіреді.

Стандартты ауытқу эмпирикалық үлестірілімнің қалыпты үлестірілімге жақын екендігін анықтайтын критерий ретінде маңызды. Атап айтқанда, кез-келген қалыпты үлестірілім үшін шамамен:

1. Қисық астындағы ауданның 68% μ - орта мәннің бір σ - стандартты ауытқу аймағында жатады, яғни $(\mu \pm 1\sigma)$;
2. Қисық астындағы ауданның 95% μ - орта мәннің екі σ - стандартты ауытқу аймағында жатады, яғни $(\mu \pm 2\sigma)$;
3. Қисық астындағы ауданның 99.7% μ - орта мәннің үш σ - стандартты ауытқу аймағында жатады, яғни $(\mu \pm 3\sigma)$.

Осы шартты эмпирикалық мәліметтерді өңдеу барысында алынған нәтижемен салыстырайық. Эмпирикалық мәліметтерді өңдейтін программа нәтижесінде алынған орта мән мен стандартты ауытқу: $m=5.3333$; $\sigma=2.3979$, онда,

$$(\mu \pm 1\sigma) = (2.9354; 7.7312); (\mu \pm 2\sigma) = (0.5375; 10.1291); (\mu \pm 3\sigma) = (-1.8604; 12.527) \quad (3)$$

Гистограмма түрінде алынған үлестірілім графигінен (1-сурет) осы аралықтарды сараптасақ жоғарыдағы үш шартты ескере отырып, шамамен қалыпты үлестірілімге жуық екендігін байқауға болады. Қарастырылған статистикалық анализ оқыту орталықтары, оқытушылар тәжірибесінде маңызы бар және тест жасаушылардың тест сапасына қарасты жауапкершілігін арттырады. MatLab жүйесін қолдану мысалы бұл жүйені алғаш қолданушылар мен осы жүйеде статистикалық үлестірілім талдауымен айналысатындарға да пайдалы деп ойлаймыз.

Қорытынды

Дұрыс құрастырылған, нормативті тест білімгерлердің репрезентативті іріктемесінде орындалса, онда ол симметриялы үлестірілімді, мода мен орта мәні тең, ал қалған мәндері орта мәннің айналасында қалыпты үлестірілім заңына сай орналасады. Тест құрастырған кезде келесі ережені ұстанған дұрыс: егер эмпирикалық үлестірілім мен қалыпты үлестірілімді салыстыру оң нәтиже берсе, ал дисперсия өссе, онда тестің сапалық қасиеті артады. Егер эмпирикалық үлестірілім мен қалыпты үлестірілімді салыстыру оң нәтиже бермесе, онда білімгерлердің алған нәтижелеріне сенімділік аз. Үлестірілімдерді салыстыру талдамаларын MatLab жүйесінде жүргізуді ұсынамыз, ол жоғарыда келтірілген бірқатар ерекшеліктеріне байланысты. Жалпы алғанда, кәсіби тұрғыдан құрастырылған нормалы-бағытталған тест бойынша білімгерлердің 70% тапсырманың 30-70% дұрыс орындауы керек, соның ішінде 50%-ға дұрыс орындалған нәтиже көбірек кездесу керек.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Абилмажинова Б.С. Компьютерное тестирование как вспомогательный инструмент при определении качества знаний студентов // «Қазақстан жоғарғы мектебі» №2(1), Алматы, 2013, С.165-167
- 2 Керімбаев Н.Н., Йоцов В.С., Болысханова М.Ж. Аралас оқыту әдістеріне бұлтты технологияларды қолдану. Вестник КазНПУ им Абая № 4 (72), 2020, С.178-183
- 3 Tenko Raykov, Dimiter M Dimitrov, George A Marcoulides, Michael Harrison. On the Connections Between Item Response Theory and Classical Test Theory: A Note on True Score Evaluation for Polytomous Items via Item Response Modeling. Educ Psychol Meas. 2019, №79 (6), pp.1198-1209. <https://doi.org/10.1177/0013164417745949>
- 4 Сеногноева Н.А. Оценка эффективности тестов учебной деятельности // Стандарты и мониторинг в образовании №1, 2007, С.33-37
- 5 Scott J. Peters. The Challenges of Achieving Equity Within Public School Gifted and Talented Programs. // Gifted Child Quarterly, 2021, № 66(2), pp. 82-94. <https://doi.org/10.1177/00169862211002535>
- 6 Бозиев С.Н. MATLAB 2006a в примерах. - Москва, 2006, 150 с
- 7 Сауханова М.С., Сауханова Ж.С., Matlab Fuzzy Logic Toolbox саймандарының көмегімен бұлдыр моделдерді құру. Оқу құралы. - Астана қ., 2017, 145 б
- 8 Donald W. Mueller, Jr. An Introduction to the Finite Element Method Using MATLAB. //International Journal of Mechanical Engineering Education, 2005, № 33(3). pp. 260-277, USA.
- 9 Громыко Г.Л. Теория статистики: Практикум / Г.Л. Громыко. - Москва: Инфра-М, 2018. -544с
- 10 Gene V Glass and Julian C. Stanley. Statistical Methods in Education and Psychology.-N. J.: Prentice-Hall: 1970. - 596p. <https://doi.org/10.1177/001316447003000432>

References:

- 1 Abilmazhinova B.S. (2013) Komp'yuternoe testirovanie kak vspomogatel'nyj instrument pri opredelenii kachestva znaniy studentov [Computer-based testing as an additional tool in determining the quality of students' knowledge] "Kazakhstan zhogargy mektebi" mezhduнародnoe nauchno-pedagogicheskoe izdanie. Almaty №2(1). 165–167. (In Kazakh)
- 2 Kerimbaev N.N., Jocov V.S., Bolyshanova M.Zh. (2020) Aralас okytu adisterine bul'ty tehnologiyalarydy koldanu [Cloud technologies for combined teaching methods application]. Vestnik KazNPU im Abaja Almaty № 4 (72), 178-183 (In Kazakh)
- 3 Tenko Raykov, Dimiter M Dimitrov, George A Marcoulides, Michael Harrison.(2019) On the Connections Between Item Response Theory and Classical Test Theory: A Note on True Score Evaluation for Polytomous Items via Item Response Modeling. Educ Psychol Meas.№79(6). pp. 1198-1209. <https://doi.org/10.1177/0013164417745949>
- 4 Senognoeva N.A. (2007) Ocenka jeffektivnosti testov uchebnoj dejatel'nosti [Evaluating the effectiveness of educational activity tests]. Standarty i monitoring v obrazovanii №1., 33-37 (In Russian)
- 5 Scott J. Peters.(2021) The Challenges of Achieving Equity Within Public School Gifted and Talented Programs. Gifted Child Quarterly. №66(2). pp. 82-94. <https://doi.org/10.1177/00169862211002535>
- 6 Boziev S.N.(2006) MATLAB 2006 a v primerah. [MATLAB 2006a in examples]. Moscow, 150. (In Russian)
- 7 Sauhanova M.S., Sauhanova Zh.S.,(2017), Matlab Fuzzy Logic Toolbox sajmandarynyn komegimen buldyr modelderdi kuru.[Creating blurry models using the Matlab Fuzzy Logic Toolbox] .Oku kuraly. Astana, 145 (In Kazakh)
- 8 Donald W. Mueller, Jr.(2005) An Introduction to the Finite Element Method Using MATLAB. International Journal of Mechanical Engineering Education. №33(3). pp. 260-277., USA.
- 9 Gromyko G.L. (2018) Teorija statistiki: Praktikum[Theory of Statistics: Practicum] G.L. Gromyko. M.:Infra, M. 544s(In Russian)
- 10 Gene V Glass and Julian C. Stanley.(1970) Statistical Methods in Education and Psychology N. J.: Prentice-Hall. 596p. <https://doi.org/10.1177/001316447003000432>

А.А. Акжолова^{1*}, Г.Б. Камалова¹, Е.К. Хеннер², Е.М. Байзакова¹

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Пермь мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Пермь қ., Ресей Федерациясы
*e-mail: akmarala.0706@gmail.com

МЕКТЕПТІҢ ИНФОРМАТИКА-МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕ ӘЛ-ФАРАБИДІҢ ТРИГОНОМЕТРИЯСЫН ОҚЫТУДЫҢ ҚАЖЕТТІЛІГІ ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Орта ғасыр дәуірінің ұлы ойшылы әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасы – әлемдік ғылым мен өркениеттің дамуына баға жетпес үлес қосқан орасан зор теориялық және практикалық құндылыққа ие. Ол бір градусты синусты табудың және практикадағы әртүрлі есептерді шешуге қажетті тригонометриялық кестелерді құрудың бірегей алгоритмдерін ұсынады. Оларды қазіргі заманғы информатика-математикалық білімге енгізу ұлы ғалымның мұрасын кеңінен дәріптеуді ғана емес, сонымен қатар, тригонометрияны оқыту мазмұнын байытуға, оның қолданбалы бағытын күшейтуге, оқушылардың математика мен информатика саласындағы пәндік білім жүйесін кеңейтуге мүмкіндік береді, сондай-ақ, компьютерлік бағдарламалық жасақтамасыз кесте құру мүмкін емес. Әл-Фарабидің математикалық мұрасының басым бөлігін, оның ішінде тригонометрия бойынша еңбектерін алғаш рет Ислам шығысының математика және педагогика тарихы саласын салыстырмалы түрде белгілі қазақстандық ғалым Ауданбек Көбесов тауып, зерттеді. Бірақ, әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасының дидактикалық әлеуетін және оны оқу үдерісіне енгізу мәселелерін әлі ешкім зерттеген жоқ. Бұл жұмыстың мақсаты – ұлы ғалымның тригонометриялық мұрасымен танысу, оны мектептегі информатика-математикалық білім беру жүйесіне енгізу мүмкіндігін зерттеу және оқытудың тиімділігін арттыруда заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану.

Түйін сөздер: Әл-Фарабидің тригонометриясы, GeoGebra, синустар кестесін құру, оқытудағы тарихизм принципі, алпысыншы санау жүйесі, тригонометриялық сызықтар.

Аннотация

А.А. Акжолова¹, Г.Б. Камалова¹, Е.К.Хеннер², Е.М. Байзакова¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан,

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация

О НЕОБХОДИМОСТИ ОБУЧЕНИЯ ТРИГОНОМЕТРИИ АЛЬ-ФАРАБИ В СИСТЕМЕ ШКОЛЬНОГО ИНФОРМАТИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Тригонометрическое наследие аль-Фараби – великого мыслителя эпохи средневековья, внесшего неоценимый вклад в развитие мировой науки и цивилизации, представляет огромную теоретическую и практическую ценность. В нем предлагаются уникальные алгоритмы нахождения синуса одного градуса и построения тригонометрических таблиц, необходимых для решения различных задач практики. Включение их в современное информатико-математическое образование позволит не только популяризировать наследие великого ученого, но и обогатит содержание обучения тригонометрии, усиливая его прикладную направленность, расширит систему предметных знаний обучающихся как по математике, так и информатике, поскольку построение таблицы невозможно без программной реализации на компьютере. Как и преобладающая часть математического наследия аль-Фараби, его труды по тригонометрии впервые обнаружены и изучены сравнительно недавно известным казахстанским ученым в области истории математики и педагогики исламского Востока Ауданбеком Кубесовым. Но дидактический потенциал тригонометрического наследия аль-Фараби и вопросы его внедрения в учебный процесс до сих пор никем не исследованы. Целью данной работы является знакомство с тригонометрическим наследием великого ученого и изучение возможности внедрения его в систему школьного информатико-математического образования.

Ключевые слова: тригонометрия аль-Фараби, GeoGebra, составление таблицы синусов, принцип историзма в обучении, шестидесятеричная система счисления, тригонометрические линии.

Abstract

ABOUT THE NEED TO TEACH AL-FARABI TRIGONOMETRY IN THE SCHOOL COMPUTER SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION SYSTEM

Akzholova A.^{1}, E.Kamalova G.¹, Khenner E.², Bayzakova E.¹*

¹*Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

²*Perm State University, Perm, Russian Federation*

The trigonometric legacy of al-Farabi, the great thinker of the Middle Ages, who made an invaluable contribution to the development of world science and civilization, is of great theoretical and practical value. It offers unique algorithms for finding the sine of one degree and constructing trigonometric tables necessary for solving various practical tasks. Their inclusion in modern computer science and mathematics education will not only popularize the legacy of the great scientist, but also enrich the content of teaching trigonometry, strengthening its applied orientation, expand the system of subject knowledge of students in both mathematics and computer science, since the construction of a table is impossible without software implementation on a computer. Like the predominant part of al-Farabi's mathematical heritage, his works on trigonometry were first discovered and studied relatively recently by Audanbek Kubesov, a well-known Kazakh scientist in the field of the history of mathematics and pedagogy of the Islamic East. But the didactic potential of the trigonometric heritage of al-Farabi and the issues of its implementation in the educational process have not yet been investigated by anyone. The purpose of this work is to get acquainted with the trigonometric heritage of the great scientist and to study the possibility of introducing it into the system of school computer science and mathematics education.

Keywords: Al-Farabi trigonometry, GeoGebra, compilation of the sine table, the principle of historicism in teaching, the sixtieth number system, trigonometric lin.

Кіріспе

Тригонометрия ежелгі уақытта астрономияның бір бөлігі ретінде пайда болып, дамыды, оның есептеу аппараты таза геометриялық сипатта болғанымен, негізінен «хорданы есептеу» болды. Сол кезеңдегі тригонометрияның толық мәліметтері ежелгі грек астрономы Птолемейдің әйгілі «Алмагестінде» келтірілген [1].

Математиканың жеке бөлімі ретінде тригонометрия тарихы Орта ғасырларда басталды. Оған ортағасырлық үнді астрономдары айтарлықтай үлес қосты. Сол кезеңдерде ғалымдар хордаларды синустармен алмастырды. Бұл жаңалық үшбұрыштың жақтары мен бұрыштарын зерттеуге қатысты функцияларды енгізуге мүмкіндік берді. Дәл сол кездерде тригонометрия астрономиядан бөлініп, математиканың бір бөліміне айнала бастады.

Үнді астрономиялық трактаттары Птолемейдің «Алмагестімен» бірге таяу және Орта Шығыс елдерінде тригонометриялық ұғымдар мен әдістердің дамуының бастауы болды. Бұл жағдайда Птолемейдің «Алмагесті» үлкен рөл атқарды. IX ғасырдың басында ол грек тілінен араб тіліне аударылып, кейіннен ортағасырлық Шығыстың көптеген ғалымдары түсініктеме беріп, өңделді.

Оның алғашқы комментаторларының бірі – ұлы ғалым, ойшыл және ерте ортағасырлық энциклопедист, қазақ халқының тумасы әл-Фараби (870-950 жж.) болды.

Әл-Фараби ежелгі грек астрономының жұмысындағы қиын математикалық есептеулерді түсінуді жеңілдету үшін Птолемейдің тригонометриялық аппаратын біршама жетілдіреді. «Алмагестке» қосымша кітабының» [2] тригонометриялық тарауларында математикалық астрономия мен географияның әртүрлі есептерін шешу үшін математикалық әдістерді қолдануға байланысты өте дамыған тригонометрияны ұсынған. Кейін ол Лондондағы Британ мұражайында сақталған араб қолжазбасының фотокошірмесінен аударылып, Ислам шығысының математика және педагогика тарихы саласындағы танымал қазақстандық ғалым А.Көбесов зерттеді және ол «Әл-Фарабидің математикалық мұрасы», «Математикалық трактаттар», «Птолемейдің «Алмагестке» түсініктемелері» атты шетелдік фарабиист ғалымдардың жоғары бағасын алған еңбектерінде [2-4] көрініс тапты. Бұрын бұл жұмыс ешқандай тілге аударылмаған, оның бар екендігі де белгісіз еді [5].

Әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасына деген қызығушылық бүгінде ұлы ғалымға деген құрмет пен оның еңбектерін танымал етуге деген ұмтылыс қана емес, ол үлкен дидактикалық мүмкіндіктерге ие және қазіргі мектепте де, математика және информатика мұғалімін дайындауда жоғары педагогикалық білім беруде де оқуға лайықты. Сонымен қатар, оның білім беру аспектілері мен оқу үдерісіне енгізу мәселелері осы уақытқа дейін зерттелмеген.

Материалдар және әдістер

Зерттеу барысында А.Көбесовтың еңбектерінде ұсынылған әл-Фарабидің тригонометриясы бойынша жұмыстары зерделенді, алгебра және информатика пәндерінен үлгілік оқу бағдарламаларына және қазіргі уақытта оқу үдерісінде қолданылатын аталған пәндердің мектеп оқулықтарына талдау жасалды, сонымен қатар, бірқатар әдістер қолданылды: қарастырылып отырған мәселеленің жай-күйін жан-жақты зерттеу мақсатында жүргізілген теориялық талдау әдісі, зерттеу дәрежесін анықтау және оны шешу үшін педагогикалық жағдайлардың жиынтығын анықтау; тікелей және жанама бақылау.

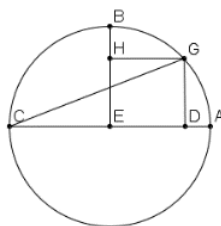
Нәтижелер және талқылау

Математиканы оқытудағы тарихи мәліметтерді көптеген ғалым-әдіскерлер мен математика оқытушылары: В.Я.Буяковский, Н.Я.Виленкин, П.С.Гурьев, Л.Ф.Магницкий, А.Ф.Малинин, К.А.Малыгин, Т.Ф.Осиповский, Д.М.Перевощиков, И.И.Чистяков және басқалары пайдаланды. Қазіргі уақытта математикалық білім берудің гуманитарлық құрамдас бөлігі ретінде ғылым тарихы рөлінің өсуіне байланысты мектептегі математикалық білім берудің тарихи компонентін күшейту мәселесі жаратылыстану ғылыми білім берудің қазіргі заманғы шетелдік және отандық теоретиктері мен практиктерінің жіті назарында болып отыр. Олар: М.И Глухова, Ю.А.Дробышев, О.Н.Журавлева, Т.А.Иванова, Д.Икрамов, А.Е.Малых, Т.С.Полякова, И.М.Смирнова, Т.Т.Фискович, О.В.Шабанова, Б.Ж.Мамуров, Г.К.Нур [6-8] және басқалары.

Олардың еңбектерінде мектептегі математика курсына математикалық идеялар мен әдістердің генезисін қарастыру қажеттілігі бірнеше рет айтылған, оқушылардың математикалық білім деңгейін арттыру мақсатында сабақтарда да, сыныптан тыс жұмыстарда да осы мәселенің жеке аспектілерін шешудің әртүрлі нұсқалары ұсынылған.

Тригонометрия, математиканың көптеген бөлімдері сияқты формальды түрде жасанды, өмірден ажыратылған, түсініксіз болып көрінеді. Егер осы мәселеге әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасын қазіргі білім беру жүйесіне енгізу арқылы тарихи даму тұрғысынан қарайтын болсақ, онда оның терең өмірлік мәні, табиғилығы, қажеттілігі көрінеді.

Өзінің тригонометриялық тарауларының басында әл-Фараби негізгі тригонометриялық сызықтарға – хордалар, синус, косинус және т.б. туралы түсінік береді. Ол «ABC – шеңбер, E – шеңбердің центрі, AC – шеңбердің диаметрі (Сурет 1). E нүктесінен EB түзуді жүргіземіз. Басқа AG береміз, AG сызығын жүргіземіз, GD-ді AC-ға перпендикуляр түсіреміз және GH-ті перпендикуляр BE-ге, G және C қосамыз. Сонда AG сызығы AG хордасының доғасы, GC хордасы оның толықтыруы, GH – оның косинусы, DE тең AD сызықтары – AG доғасының жебесі, BH – GB доғасының жебесі, GB доғасы AG доғасының шеңберге дейінгі толықтыруы, GBC доғасы – AC доғасының шеңбердің жартысына дейінгі толықтыруы» [1].

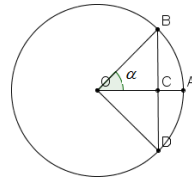


Сурет 1. Әл-Фараби бойынша негізгі тригонометриялық сызықтар

Мәтіннен көрініп тұрғандай, ол синустар мен косинустарды бірінші тоқсанда, ал Птолемей сияқты хордаларды жоғарғы жарты жазықтықта қарастырады. Сонымен қатар, мәтін мен суреттен негізгі тригонометриялық сәйкестендіруді $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = R^2$ және келесі азайту формулаларын $\sin \alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$, $\cos \alpha = \sin(90^\circ - \alpha)$, сондай-ақ, бірінші тоқсанда синус сызығының мәні артып, косинус сызықтары азаятынын оңай анықтауға болады.

Әрі қарай, ол синусты «Қос доғаның хордасының жартысы ретінде» анықтайды, яғни, егер $BD = chd 2\alpha$ (Сурет 2), онда BC - доғаның синус сызығы $AB = \alpha$ және

$$\sin \alpha = 1/2 \cdot chd 2\alpha \quad (1)$$

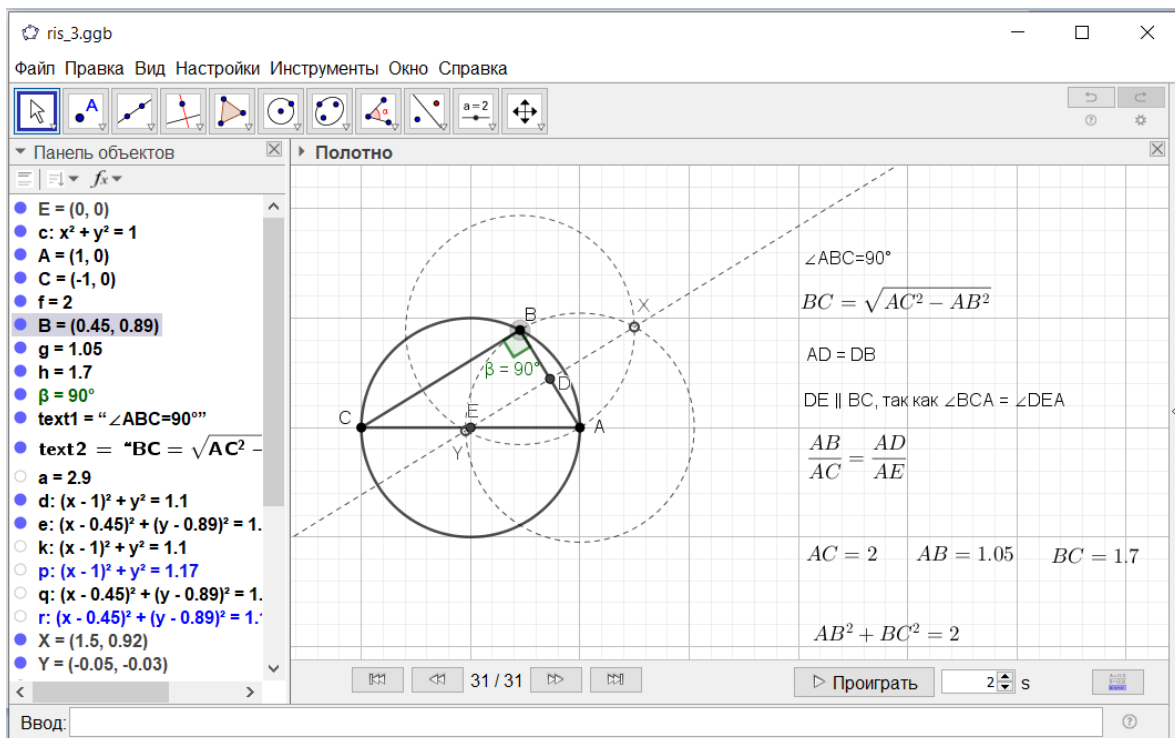


Сурет 2. Әл-Фараби бойынша синусты анықтау

Бұл Птолемейдің түсініктемесінен кейінгі ең алғашқы бізге белгілі синусты енгізу.

Бұдан әрі «Алмагестте» ол 2α доғасының хордасын α бұрышының синусымен ауыстырады. Мұндай ауыстырудың өзі соншалықты маңызды емес болып көрінгенімен, хордадан жартылай хордаға өту астрономияда шеңбердегі үшбұрыштың жақтары мен бұрыштарына байланысты әртүрлі тригонометриялық функциялардың кеңінен енгізілуіне ықпал етті.

Синус ұғымын енгізгеннен кейін негізгі тригонометриялық сызықтарды түсіндіруде әл-Фараби белгілі α доғасының хордасы бойынша оның толықтыруының хордасын табу әдісін сипаттайды. «ABC – шеңбері берілсін, AC – оның диаметрі. Оған AB доғасын орнатып, AB және BC сызықтарын сызамыз (Сурет 3). AB хордасын белгілі деп есептейік. Онда BC хордасы да белгілі болады» [2]. Және өзінің тұжырымында дәлелдейді.



Сурет 3. Доғаның қосымшасының хордасын анықтау

Көрсетілген AB және BC хордалары шеңбердің диаметріне негізделген іштей сызылған бұрыштың жақтарын құрайды, сондықтан ABC бұрышы тік болады. ABC үшбұрышындағы Пифагор теоремасына сәйкес: $AC^2 = AB^2 + BC^2$ болады. Есептің шарты бойынша AB белгілі, AC – шеңбердің диаметрі. Онда $BC = \sqrt{AC^2 - AB^2}$ оңай анықталады.

Немесе, егер $AB = chd\alpha$ белгілерін енгізсеңіз, ал $BC = chd(180^\circ - \alpha)$ – хордасы оның толықтыруы болса; онда теңдік

$$chd(180^\circ - \alpha) = \sqrt{(2R)^2 - chd^2\alpha}. \quad (2)$$

Әрі қарай ол былай деп жазады: Әрбір хорда шеңбердің диаметріне, шеңбердің жарты диаметріне осы хорданың жарты доғасының синусы ретінде жатады, себебі, егер біз AB сызығын D нүктесінде қақ бөлеміз және DE сызығын жүргіземіз, мұндағы E – шеңбердің центрі, онда BCA және DEA

бұрыштарының теңдігіне байланысты DE және BC параллель болады; AD - AB жарты доғасының синусы, сондықтан AB – AC-ға, AD мен AE сияқты жатады.

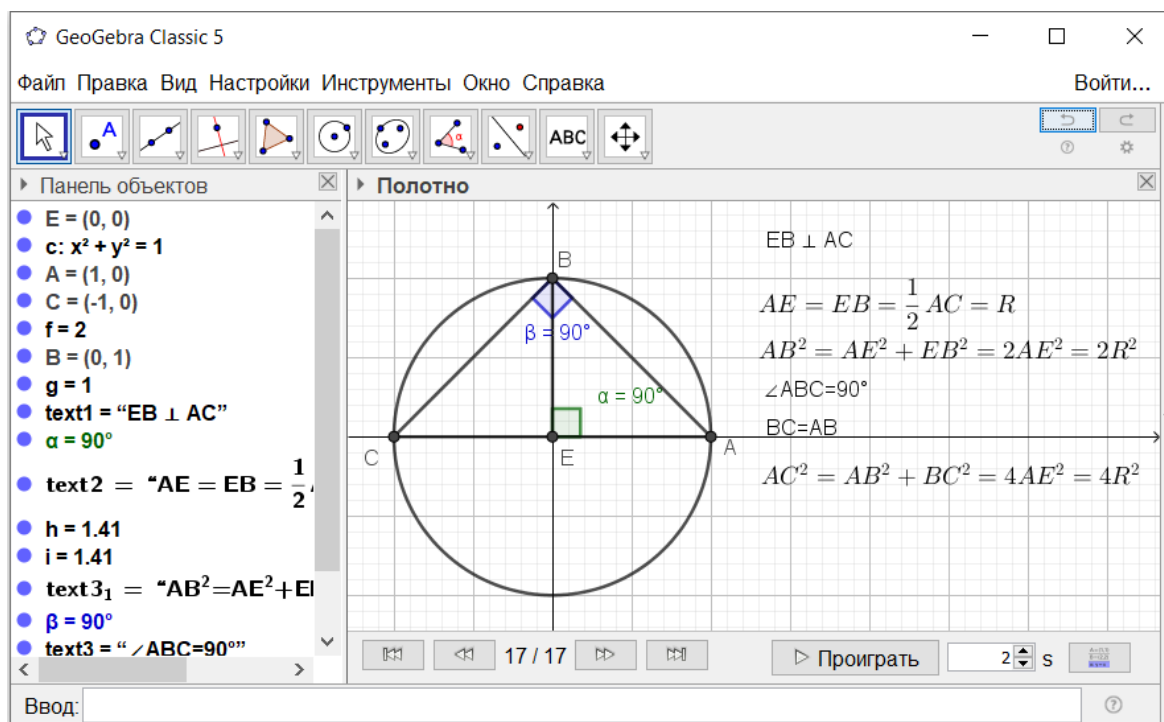
Енгізілген белгілерге байланысты $\frac{chd\alpha}{2R} = \frac{\sin(\alpha/2)}{R}$, бұл, сонымен бірге, ол енгізген формуланы негіздейді (1).

Бұл жерде әл-Фарабидегі барлық есептер мен олардың шешімдері іс-әрекеттердің нақты реттілігімен ұсынылғанын және сызбалармен түсіндірілгенін айта ету керек. Тұжырымдалған мәлімдемелердің мәнін, олардың дәлелдерін жақсы түсініп, көрнекі түрде көрсетуге GeoGebra бағдарламалық ортасының мүмкіндігі өте зор [9].

Сонымен қатар, GeoGebra бағдарламасында тиісті түсініктемелермен құрылған құрылымдарды жоғалтып алу мүмкіндігі де бар. Мұнда оқушылар белгілі құрылымның құрылуын қадам бойынша жасап көрулеріне және алгоритмді жақсы түсініп алуларына болады. Сондай-ақ, осы динамикалық ортадағы барлық бастапқы деректерді оңай өзгертуге, нүктелерді жылжытуға, кесіндінің ұзындығын өзгертуге болады және де бұл өзгерістердің нәтижесі компьютер экранында бірден көрінеді. Бұл дәлелдемелердің дұрыстығын тексеруге мүмкіндік береді. Әр түрлі бастапқы деректермен тәжірибе жасау мүмкіндігінің болуы кез келген тапсырманы тереңірек игеруге мүмкіндік береді.

Әл-Фарабидің жұмысында тригонометрия бойынша көптеген тапсырмалар қарастырылған, олардың ішінде шеңбердің төрттен бір бөлігі, үштен бір бөлігі, оннан бір бөлігі және бесінші шеңбер бар. Олардың әрқайсысы «Алмагестке» қосымша кітабының жеке тарауында келтірілген.

Сонымен, ол «Шеңбердің төрттен бір бөлігінде хорданың көлемін табу» туралы үшінші тарауда былай деп жазады: «ABC шеңбері берілсін, E – оның центрі, AC – оның диаметрі, EB – тік бұрышын сызамыз. A және B, B және C-ны қосамыз. Әрбір AB және BC доғалары шеңбердің төрттен бір бөлігіне тең, сондықтан әрбір AB және BC сызықтары шеңбердің төрттен бір бөлігінің хордасы болады (Сурет 4). Мен оларды белгілі деп есептеймін» [2]. Және оның дәлелін келтіреді.



Сурет 4. Шеңбердің төрттен бір бөлігіндегі хорданың мәнін табу

АЕВ тікбұрышты үшбұрышында АЕ және ЕВ жақтары белгілі және жартылай диаметрге тең: $AE = EB = \frac{1}{2} AC$.

$AB^2 = AE^2 + EB^2 = 2AE^2 = \frac{1}{2} AC^2$ Пифагор теоремасына сәйкес, яғни шеңбердің төрттен бір бөлігінің хордасының квадраты жартылай диаметрдің екі квадратына тең.

Мұндағы $AB = chd90^\circ = \sqrt{2}AE$.

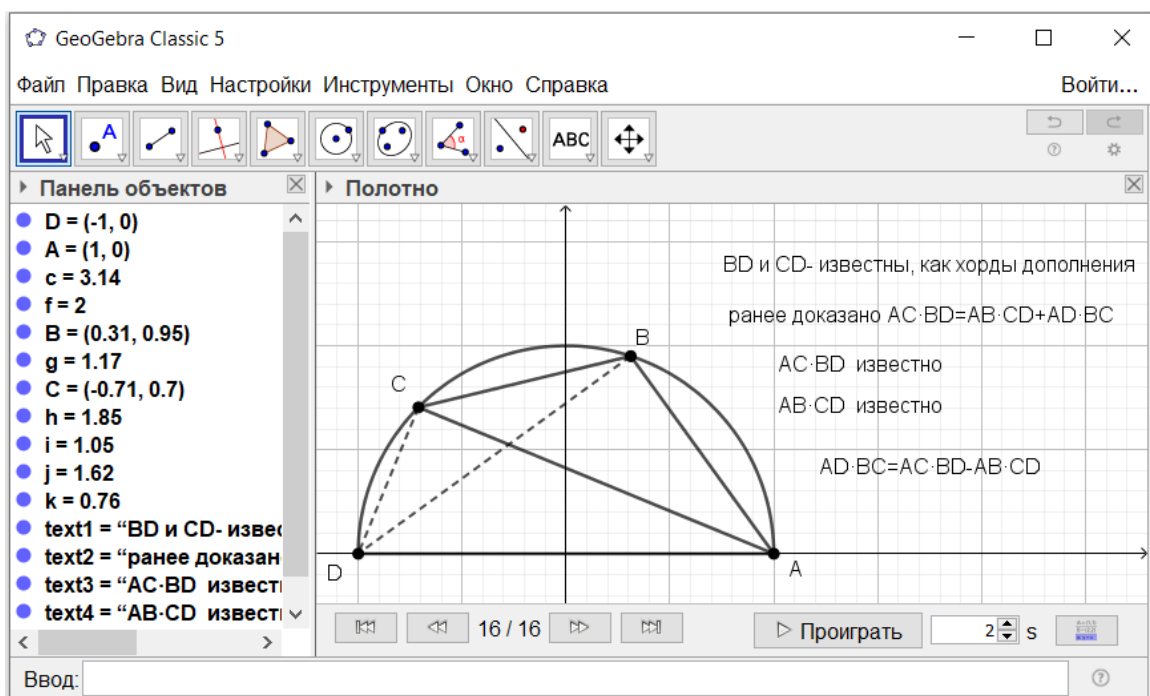
Егер $AE = R$ белгісін енгізсек және (1) формуласын пайдалана отырып, $\sin 45^\circ = \frac{chd90^\circ}{2} = \frac{R\sqrt{2}}{2}$ аламыз.

ABC тікбұрышты үшбұрышта: $AC^2 = AB^2 + BC^2 = 4AE^2$, өйткені $AB=BC$ және әрқайсысының квадраты $2AE^2$ тең. Бұл 4-суретте анық көрсетілген.

Осы сериядағы қалған тапсырмалар ұқсас түрде дәлелденеді.

Әрі қарай ғалымның жұмысында екі доғаның қосындысы мен айырымының хордасы, жарты доғаның хордасы және т.б. есептер қарастырылады. Осылардың біреуін «Хордасы белгілі, екі доғаның айырымының хордасының көлемін табуды» қарастырып көрейік:

«ABCD – жартылай шеңбері берілсін, AD – оның диаметрі және оның AB және AC хордалары белгілі. B және C-ны қосамыз (Сурет 5). Менің тұжырымдауымша «BC белгілі», - деп жазады ол» [2]. Әрі қарай оның шешімін сипаттайды.



Сурет 5. Бұрыштардың айырымының хордасы туралы теореманың суреттемесі

Хорданың шарты бойынша AB және AC белгілі. Тиісінше, BD және CD толықтыруларының хордасын жүргізейік, олар оңай анықталады, сондықтан олар да белгілі болып табылады.

Птолемейдің белгілі теоремасына сәйкес, «шеңберге сызылған төртбұрыштың диагональдарының көбейтіндісі оның қарама-қарсы жақтарының көбейтіндісінің қосындысына тең», оны әл-Фараби өзінің жұмысында келтіреді (Сурет 5):

$$AC*BD=AB*CD+AD*BC \quad (3)$$

$AC*BD$ көбейтіндісі белгілі болғандықтан, $AB*CD$ көбейтіндісі де белгілі; онда қалған $AD*BC$ көбейтіндісін (3) табу оңай болады:

$$AD*BC = AC*BD - AB*CD;$$

Мұнда AD хордасы белгілі болғандықтан BC хордасы да белгілі болады.

Жаңа белгілерді енгізе отырып, (3) айтылымды жазамыз.

AC және AB доғаларына сәйкес келетін бұрыштар α және β сәйкесінше тең болсын, онда

$$AC = chd\alpha; \quad CD = chd(180^\circ - \alpha) - \text{хорда оның толықтыруы};$$

$$AB = chd\beta; \quad BD = chd(180^\circ - \beta) - \text{хорда оның толықтыруы};$$

$$DAB \text{ және } DAC \text{ бұрыштарының айырымының } BC \text{ хордасы: } C = chd(\alpha - \beta); \quad AD = chd180^\circ$$

(3) теңдікке хорданың бұл мәндерін ауыстырып қойып, доғаның айырымының хордасының формуласын аламыз:

$chd(\alpha - \beta) = \frac{1}{chd180^\circ} [chd\alpha \cdot chd(180^\circ - \beta) - chd\beta \cdot chd(180^\circ - \alpha)]$. Бұл екі бұрыштың айырымының синусының белгілі формуласына тең:

$\sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha \cdot \cos\beta - \sin\beta \cdot \cos\alpha$, (1) қатынасын қолдана отырып, хордаларды синустармен алмастыру арқылы алуға болады.

Жоғарыда дәлелденген барлық формулалар тригонометриялық функциялар кестесін құрудағы маңызды кезеңдердің бірі болып табылатын бір градуустағы синустың сандық мәнін табу үшін қажет болады.

Ортағасырлық шығыс математиктері бұл есепті шешудің әртүрлі әдістерін әзірлеуге үлкен мән берді. Біздің білуімізше, әл-Фараби өзінің ««Алмагестке» қосымша кітабында» Шығыста бірінші болып бір градуустағы косинус және синустың мәнін анықтайды. Ол қолданған бір градуусты хорданы есептеу әдісі Птолемейдің әдісімен бірдей болғанымен, әл-Фараби алпыстық бөлшекпен есептеу әдістерін жетілдіру арқылы Птолемейдің есептеу дәлдігін одан әрі жақсартады.

Ол бір градуустағы синус пен хорданы есептеу кезінде ерекше рөл атқаратын лемманы алдын-ала дәлелдейді: егер $\alpha > \beta$ онда $\frac{chd \alpha}{crd \beta} < \frac{\alpha}{\beta}$, осының негізінде әрі қарай синус, косинус және хорданың кестелері құрылады. Птолемейден кейін әл-Фараби алдымен $72^\circ - 60^\circ = 12^\circ$ айырымының доғаларының хордасын табады, одан кейін оны 6° , 3° , 1.5° және $\frac{3^\circ}{4}$ дәйекті түрде анықтайды.

Дәлелденген лемманың көмегімен келесідей теңсіздікті алады

$$crd 1^\circ : crd \frac{3^\circ}{4} < 1 : \frac{3}{4},$$

$$crd 1^\circ < \frac{4}{3} \cdot crd \frac{3^\circ}{4} \approx 1^\circ 2' 49'' 52''' \text{ және } crd \frac{3^\circ}{2} : crd 1^\circ < \frac{3}{2} : 1,$$

$$crd 1^\circ > \frac{2}{3} \cdot crd \frac{3^\circ}{2} \approx 1^\circ 2' 49'' 48''' . \text{ Оның ішінде } 1^\circ 2' 49'' 48''' < crd 1^\circ < 1^\circ 2' 49'' 52''' .$$

Әл-Фарабидің бір градуустағы хордасының шамаланған мәні үшін табылған екі мәндің арифметикалық ортасы алынады $crd 1^\circ \approx 1^\circ 2' 49'' 50'''$. Егер Птолемей тапқан бір градуусты хорданың мәні дәл бес ондық белгіге дейін болса, әл-Фарабиде ол дәл алты ондық белгіні қоса алғанмен тең болған. Әл-Фарабидің бір градуусты синусты есептеу дәлдігін жақсарту бойынша көрсеткен жетістігін одан әрі ортағасырлық Шығыстың басқа математиктері дамытты.

Әл-Фараби одан әрі қарай $crd 1^\circ \approx 1^\circ 2' 49'' 50'''$ мәнінен $crd 179^\circ \approx 119^\circ 59' 43'' 33'''$ (хорда оның толықтыруы ретінде) мәнін табады және хордасы белгілі екі доғаның қосындысының мөлшерін анықтау туралы оның дәлелдеген тұжырымына сәйкес $\sin 1^\circ \approx 1^\circ 2' 49'' 43'''$ және $\cos 1^\circ \approx 59^\circ 59' 27'' 30'''$ алатын, бірден 180° дейінгі барлық хордаларды анықтайды.

Ондық бөлшектерде $\sin 1^\circ$ әл-Фарабидің жақындауы дұрыс 0,017452406 орнына 0,017452389-ға тең болады. Бір градуустағы косинустың мәні бір градуустағы тангенс пен котангенсті есептеу үшін қажет. Олар өз кезегінде осы функциялардың кестелерін құруға қажет болады.

Хордалар мен синустардың мәндерін есептеу құралдарынсыз қолмен есептеу көп уақытты қажет етеді. Дегенмен, әл-Фарабидің сипаттаған алгоритміне сәйкес хордалар мен синустар кестесінің құрылымына әр жаңа мәнге бірдей әрекеттер тізбегін нақты беруге болады. Бұл олардың компьютерде орындалуын айтарлықтай жеңілдетеді.

Әрине, әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасы қазіргі информатика-математикалық білім беруде оқуға лайықты. Мектеп білім беру жүйесінде оқушылардың тригонометриялық функциялармен алғашқы танысуы 8-сыныпта жүргізіледі. Тригонометриялық функцияларды жүйелі түрде меңгеру жаңартылған мазмұн бойынша 9-сыныптың алгебра курсына басталады. Жаңартылған мазмұн бойынша негізгі орта білім беру деңгейінің 7-9 сыныптарына арналған «Алгебра» пәнінің үлгілік оқу бағдарламасын талдау [10], әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасының жоғарыда келтірілген тапсырмаларының барлығы дерлік мектеп оқушыларына алгебраны оқытудың ұзақ мерзімді жоспарында кездеседі (кесте 1).

Сондықтан, тригонометрия бойынша әл-Фарабидің есептерін алгебраның міндетті курсының аясында да, оларды бағдарламалық материалмен бірге оқуға болатынын да, өзіндік элективті курс түрінде де қарастыруға болады. Оқушылар тригонометрия туралы берік білімге ие болуы керек, өйткені ол үлкен практикалық бағытқа ие, ұғымдардың үлкен тізбегінің буыны және пәнаралық байланыстарды жүзеге асыруда үлкен маңызға ие болып табылады.

Кесте 1. Алгебраны оқытудың ұзақ мерзімді жоспарындағы тригонометрия бөлімінің мазмұны

| Ұзақ мерзімді жоспар бөлімі | Ұзақ мерзімді жоспар бөлімінің мазмұны | Оқыту мақсаттары | Олардың әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасында бар болуы |
|-----------------------------|--|---|---|
| 3 тоқсан | | | |
| Тригонометрия | Бұрыш пен доғаның градустық және радиандық өлшемдері | 9.1.1.1 бұрыштың радиандық өлшемі ұғымын меңгеру; 9.1.2.1 градусты радианға және радианды градусқа айналдыру; 9.1.1.2 бірлік шеңбердің бойында $0; \frac{\pi}{2}; \pi; \frac{3\pi}{2}; 2\pi$ сандарын белгілеу | |
| | Кез келген бұрыштың синусы, косинусы, тангенсі және котангенсі. Бұрыш синусының, косинусының, тангенсінің және котангенсінің мәндері | 9.2.4.1 тригонометриялық функциялардың анықтамаларын білу; 9.2.4.2 бірлік шеңбердегі нүктелердің координаталары ($\cos \alpha, \sin \alpha$) мен тригонометриялық функциялардың өзара байланысын білу | + |
| | Тригонометриялық функциялар және олардың қасиеттері | 9.2.4.5 бірлік шеңбердің көмегімен тригонометриялық функциялардың анықталу облысы мен мәндер жиынын табу; 9.2.4.6 бірлік шеңбердің көмегімен тригонометриялық функциялардың жұптылығын (тақтылығын), периодтылығын, бірсарындылығын және таңбатұрақтылық аралықтарын түсіндіру | + |
| | Тригонометрия формулалары | 9.2.4.4 келтіру формулаларын қорытып шығару және қолдану; 9.2.4.3 бұрыштардың қосындысы мен айырымының, жарты және қос бұрыштың тригонометриялық формулаларын қорытып шығару және қолдану | + |
| 4 тоқсан | | | |
| Тригонометрия | Тригонометрия формулалары | 9.2.4.7 тригонометриялық функциялардың қосындысы мен айырымын көбейтіндіге және көбейтіндісін қосындыға немесе айырымға түрлендіру формулаларын қорытып шығару және қолдану | + |
| | Тригонометриялық өрнектерді тепе-тең түрлендіру | 9.2.4.8 тригонометриялық өрнектерді тепе-тең түрлендіруді орындау | |

Сонымен қатар, бағдарламада әр бөлім шеңберінде жобалық жұмыс қарастырылған, онда оқушыларға әл-Фарабидің алгоритмі негізінде синустар кестесін құрудың компьютерлік бағдарламасын әзірлеуге пәнаралық (математика, информатика) жобалық тапсырмалар ұсынылуы мүмкін. Бірақ бүгінгі таңда мектепте тригонометрияны оқытудың кемшіліктерінің бірі – білімді шамадан тыс ресімдеу, тригонометриялық формулаларды түсіндіруде тарихи ақпараттарды пайдаланбау болып табылады. Белгілі психолог және әдіскер Л.М.Фридман осы себепке байланысты «көптеген білім алушылар математиканың ғылым ретіндегі дұрыс түсінігіне ие емес, оның пайда болуы мен даму тарихының және қазіргі жағдайы мен мәселелерінің негізгі фактілерін білмейді» деп тұжырымдайды [11].

Эл-Фарабидің тригонометриялық мұрасымен танысу, ең алдымен, оқушылардың тригонометриялық есептер және оларды шешудің мүмкін жолдары туралы түсініктерін кеңейтуге, оқушылардың тригонометрия туралы білімдерін жүйелеуге, тригонометриялық формулаларды неғұрлым саналы түсінуге, танымдық және зерттеу дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Оқушылардың математикалық білім деңгейін арттыруға, олардың қазіргі қоғамның одан әрі дамуындағы ғылыми білімнің рөлін түсінуіне ықпал ететіні сөзсіз. Оларды оқытуда заманауи математикалық пакеттерді, пәнаралық жобалық тапсырмалар аясында информатика курсына мектеп оқушыларының өздері жасай алатын цифрлық білім беру ресурстарын пайдалану тригонометрияны оқыту үдерісін қызықты етеді, оқуға деген ынтаны арттырады және, ең бастысы, ол оқытудың тиімділігі мен сапасын арттырады [12].

Ғалымдар енгізген синус (1) анықтамасына сүйене отырып, GeoGebra бағдарламалық ортада хордалар мен синустар кестесін құрудың бүкіл процесін елестету қиын емес. Онда Microsoft Excel-ге ұқсас электрондық кестенің болуы оны жүз сексен градусқа дейінгі бұрыштық мәндермен және оларға сәйкес синус мәндерімен толтыру процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Әрине, мектеп оқушыларына бұрыннан қалыптасқан теориялар мен анықтамаларды ғана емес, математикалық білімнің пайда болуы мен дамуы туралы нақты және қызықты түсінік берілуі керек. Мұнда ғылыми жаңалықтар тарихынан алынған мәліметтерді, тригонометриялық формулаларды дәлелдеу әдістерінің пайда болуы мен жетілуі туралы ақпаратты, қоғамның даму тарихының белгілі бір кезеңіндегі әлеуметтік прогрестегі ғылымның рөлін, ғалымның өмірі мен қызметі туралы ақпараттарды пайдалануға болады. Бұл мектептегі математика және информатика курстарының мазмұнын байытады және оқушылардың тригонометрияға деген қызығушылығының пайда болуы мен дамуына оң әсер етеді. Оқытудың дұрыс ұйымдастырылуы мен ғылым тарихынан алынған ақпараттар маңызды оң тәрбиелік рөл атқара алады. Біріншіден, олардың көмегімен ғылымның адамның тәжірибелік іс-әрекетінің әсерінен пайда болатынын және дамитынын көрсетуге болады. Екіншіден, Қазақстанның тумасының ғылымды дамытудағы рөлі оқушылардың бойында ұлттық мақтаныш сезімін және жалпы ғалымдарға деген құрмет сезімін тәрбиелеуге негіз болады.

Табысқа жетудің кілті – оларды нақты материалдармен органикалық түрде біріктіріп, мектеп математикасы мен информатика шеңберіндегі оқу үдерісіне шебер енгізу болып табылады. Осындай байланыстың нәтижесінде тарихи элементтер оқушылардың өздері үшін сабақтың қажетті бөлігіне айналады, олардың тригонометрияға деген танымдық қызығушылықтары артады. Сондай-ақ, бұл оқушыларда нақты пәндік-тарихи білім жүйесін қалыптастыруда ғана емес, сонымен қатар, жастардың өмірін, оның жеке және кәсіби қалыптасуын анықтайтын рухани құндылықтар, адамгершілік ұстанымдар мен идеалдар жүйесін қалыптастыруды қамтамасыз етеді.

Негізгі әдістемелік қиындықты бағдарламалық материалды зерттеуді тиісті тарихи ақпаратты ұсынумен қалай біріктіруге болатындығы және ұлы ғалымның тригонометриялық мұрасынан материалды үйренуге деген қызығушылық тудырады. Бұл қиындықты біртіндеп, жүйелі және мұқият жұмыс істеу барысында жеңуге болады. Мұғалімге бұл бастаманы бастау үшін үлкен еңбек ету қажет. Әр мұғалімнің оқушыларға тарихи-математикалық мәліметтерді жеткізудің қажеттілігін түсінуі және жасай білуі өте маңызды.

Сондай-ақ, тарихи материалдар жалпы білім беретін сыныптардың да, мамандандырылған сыныптардың да математика стандарттарында, бағдарламаларында және оқулықтарында ұсынылуы қажет. Оқулықтарда ол бөлімнің немесе тақырыптың негізгі мәтініне енгізілуі керек. Қазіргі уақытта еліміздің мектептерінде қолданылатын алгебра оқулықтарында тарихи фактілер қысқаша берілген [13].

Бірақ, өкінішке орай, оларда орта ғасырдағы ұлы ғалым, Қазақстанның тумасы эл-Фарабидің тригонометриясы туралы еңбектерінен бір де бір мәліметтер келтірілмеген. Оқушыларды тарихи материалмен таныстыруды тек сабақтарда ғана емес, сонымен қатар сыныптан тыс сабақтарда және кіріктірілген элективті курстарда (математика және информатика) жүргізуге болады. Сыныптан тыс жұмыстар оқушыларды математиканың даму тарихымен таныстыруға үлкен мүмкіндік береді. Сыныптан тыс жұмыстардың түрлері әртүрлі болуы мүмкін: мұғалімнің басшылығымен эл-Фарабидің тригонометриялық мұрасы бойынша есептерді шешуге арналған сабақтар, пәнаралық жобалық тапсырмалар бойынша жұмыстар, цифрлық білім беру ресурстарын әзірлеу, оқушылардың да мұғалімдердің де баяндамаларын тыңдау, математикалық кештер мен викториналар, қабырға газеттерін шығару, тарихи күнтізбе жүргізу және т.б.

Сыныптан тыс жұмыстардың әр түрлі формаларын жүйелі түрде жүргізу, әл-Фарабидің есептері мен дәлелдерін нақты әрекеттер тізбегі түрінде ұсыну және оларды заманауи компьютерлік технологиялармен қатар, оқытуда қолдану арқылы оқушылардың цифрлық білім беру ресурстарын өздерінің жасауына, оқушылардың ғалымның тригонометриялық мұрасына және тригонометрияны зерттеуге деген қызығушылықтарын тудырады.

Қорытынды

Әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасының білім беру әлеуетін зерттеу, алгебра бойынша типтік оқу бағдарламасын, мектепте қолданылатын оқулықтарды талдау оны мектеп оқушыларын даярлау жүйесіне енгізу мүмкіндігін, орындылығын және қажеттілігін негіздейді, бұл білім мазмұнын байытады, оқытудың қолданбалы бағытын күшейтеді, алгебраның мектеп курсына тригонометрия бөлімін берік меңгеруге ықпал етеді. Меңгеру сапасының жоғарылауы әл-Фарабидің тригонометриялық мұрасында әр жаңа тұжырымдаманы, тұжырымды, әрбір тригонометриялық формуланы зерттеудің орындылығы түсінікті екендігімен түсіндіріледі, өйткені олардың барлығы синус кестесін және практикалық маңызы бар басқа тригонометриялық функцияларды құру мәселесін шешудің қажетті бөлігі болып табылады. Оқушылар оларды дәлелдеудің тағы бір әдісімен танысады. Компьютерде кесте құру алгоритмін бағдарламалық қамтамасыз ету оқушылардың бағдарламалау дағдыларын жетілдіруге мүмкіндік береді. Осы ретте қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану оқушылардың ынтасын, оқыту сапасы мен тиімділігін арттырады. Оқытуды ұйымдастырудың мұндай тәсілі зерттелетін материалға деген қызығушылықтың дамуына, ғылыми дүниетанымның қалыптасуына, оқудағы сана қағидатын нығайтуға ықпал етеді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Птолемей К. Альмагест: Математическое сочинение в тринадцати книгах: Пер. с древнегреч. И.Н.Веселовского //Ин-т истории естествознания и техники РАН: науч. ред. Г.Е.Куртик. – М.:Наука. Физматлит, 1998. – 672с.
- 2 Аль-Фараби. Математические трактаты. – Алма-Ата, «Наука», 1972.– 324с.
- 3 Кубесов А.К. Математическое наследие Аль-Фараби. - Алма-Ата. 1974.–246 с.
- 4 Комментарии к «Альмагесту» Птолемея (1975). / пер. с араб. А. Кубесова и Дж. аль-Даббаха. Алма-Ата: Наука. 527 с.
- 5 Garry J. Tee (University of Aucland). (1978). Kubesov A. K. The Mathematical Heritage of al-Farabi (in Russian) // Journal for the history of Arabic science. No. 1.
- 6 Мамуров Б.Ж., Жураева Н.О. О роли элементов истории математики в преподавании математики // Abstracts of X International Scientific and Practical Conference Liverpool, United Kingdom, 2020. – С. 701-702.
- 7 Нур Г.К. Методика использования истории математики в основной школе в условиях гуманизации образования. Дис.кан. пед. наук. Алматы. 2002. – 150с.
- 8 Елтай Ж., Нур Г.К. Принцип историзма в преподавании математики в школе // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 10. – С. 26-27; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32918> (дата обращения: 24.02.2022).
- 9 Rushan Ziatdinov, Valeriy M. Rakuta. Dynamic Geometry Environments as a Tool for Computer Modeling in the System of Modern Mathematics Education // European Journal of Contemporary Education, 2012. – Vol. (1), № 1. P.93-100
- 10 Типовая учебная программа по учебному предмету «Алгебра» для 7-9 классов уровня основного среднего образования по обновленному содержанию // Утверждена приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 25 октября 2017 года, №545. – Астана, 2017. - 26 с.
- 11 Фридман Л.М. Психолого-педагогические основы обучения математике в школе. М., 1983 - 160 с.
- 12 Бидайбеков Е.Ы., Камалова Г.Б., Бостанов Б.Г., Умбетбаев К.У. Информационные технологии в обучении математическому наследию аль-Фараби//Труды XI Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (СИТТО'2016), Москва, Россия, 25-26 ноября, 2016. – С. 426–439
- 13 Шыныбеков А.Н., Шыныбеков Д.А., Жумабаев Р.Н. Алгебра: Учебник для 9 класса общеобразовательной школы. – Алматы: Атамұра, 2019. – 224с.

References:

- 1 Ptolemej K. (1998) Al'magest: Matematicheskoe sochinenie v trinadcati knigah [Almagest: Mathematical essay in thirteen books]. Per. s drevnegrech. I.N.Veselovskogo. In-t istorii estestvoznaniya i tehniki RAN: nauch.red.G.E.Kurtik. M.: Nauka. Fizmatlit. 672. (In Russian)
- 2 Al'-Farabi. (1972) Matematicheskie traktaty [Mathematical treatises]. Alma-Ata, «Nauka», 324. (In Russian)
- 3 Kubesov A.K. (1974) Matematicheskoe nasledie Al'-Farabi [Al-Farabi's Mathematical Legacy]. Alma-Ata. 246. (In Russian)

- 4 Kubesov A., Dzh. al'-Dabbaha (1975) *Kommentarii k «Almagestu» Ptolemeja* [Comments on Ptolemy's Almagest]. Alma-Ata: Nauka. 527. (In Russian)
- 5 Garry J. Tee (University of Aucland). (1978). Kubesov A.K. [The Mathematical Heritage of al-Farabi]. *Journal for the history of Arabic science. No. 1. (in Russian)*
- 6 Mamurov B.Zh., Zhuraeva N.O. (2020) *O roli jelementov istorii matematiki v prepodavanii matematiki* [On the role of elements of the history of mathematics in teaching mathematics]. *Abstracts of X International Scientific and Practical Conference Liverpool, United Kingdom. 701-702. (In Russian)*
- 7 Nur G.K. (2002) *Metodika ispol'zovanija istorii matematiki v osnovnoj shkole v uslovijah gumanizacii obrazovanija* [Methods of using the history of mathematics in primary school in the conditions of humanization of education] *Dis.kan. ped. nauk. Almaty. 150. (In Russian)*
- 8 Eltaj Zh., Nur G.K. (2013) *Princip istorizma v prepodavanii matematiki v shkole* [The principle of historicism in teaching mathematics at school] *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. № 10. 26-27. (In Russian)* <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32918> (data obrashhenija: 24.02.2022)
- 9 Rushan Ziatdinov, Valeriy M. Rakuta. (2012) [Dynamic Geometry Environments as a Tool for Computer Modeling in the System of Modern Mathematics Education]. *European Journal of Contemporary Education, Vol. (1), № 1. 93-100. (In English)*
- 10 *Tipovaja uchebnaja programma po uchebnomu predmetu «Algebra» dlja 7-9 klassov urovnja osnovnogo srednego obrazovanija po obnovlennomu sodержaniju* [A standard curriculum for the subject "Algebra" for grades 7-9 of the basic secondary education level according to the updated content]. *Utverzhdena prikazom Ministra obrazovanija i nauki Respubliki Kazahstan ot 25 oktjabrja 2017 goda, №545. Astana, 26. (In Russian)*
- 11 Fridman L.M. (1983) *Psihologo-pedagogicheskie osnovy obuchenija matematike v shkole* [Psychological and pedagogical foundations of teaching mathematics at school] *M. 160. (In Russian)*
- 12 Bidajbekov E.Y., Kamalova G.B., Bostanov B.G., Umbetbaev K.U. (2016) *Informacionnye tehnologii v obuchenii matematicheskomu naslediju al'-Farabi* [Information technologies in teaching mathematical heritage of al-Farabi] *Trudy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie» (SITITO'2016), 25-26 nojabrja, 426–439 (in Russian)*
- 13 Shynybekov A.N., Shynybekov D.A., Zhumabaev R.N. (2019) *Algebra: Uchebnik dlja 9 klassa obshheobrazovatel'noj shkoly* [Algebra: Textbook for the 9th grade of a secondary school] *Almaty: Atamura, 224. (In Russian).*

Д. Н. Исабаева¹, Б.Б. Назкенова^{2*}, Н.О. Мекебаев²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: nazkenova_bayan@mail.ru

ҚАШЫҚТАН ОҚЫТУ ЖАҒДАЙЫНДА ПЕДАГОГТИҢ ЦИФРЛЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ЖОЛДАРЫ

Аңдатпа

Мақалада COVID-19 коронавирустық пандемия кезіндегі білім беру жүйесіндегі өзгерістер қарастырылады. Мұғалімнің цифрлық құзіреттілігі термині ашылып, социологиялық сауалнама арқылы мұғалімдер мен студенттерді қашықтықтан оқытуға деген көзқарасқа салыстырмалы талдау жасалды. Қашықтықтан оқытудың негізгі кемшілігі оқытушылар студентпен тікелей байланыстың жоқтығын анықтады, ал студенттер мұғалімнің аузынан тікелей білім ала алмауына байланысты ыңғайсыздық сезінеді. Қашықтықтан оқытудың бірқатар проблемалары анықталды және педагогтің цифрлық құзыреттілігін арттыру үшін курс бағдарламасы құрылды. Курс мазмұнында педагогикалық дизайн негіздері, білім беру нәтижелерінің айдарлары, бірлескен жұмыстарға арналған платформалар, бейне-дәрістер құруға арналған құралдар, ақпаратты бақылау мен жинауға арналған платформалар, сандық із және талдау, виртуалды зертханалық жұмыстың онлайн ресурстары қарастырылған. Оқыту нәтижесінде Қазақстанның жоғары оқу орындарының 680 педагогы мен жалпы білім беретін мектеп мұғалімдері өз курсын жобалап, бірінші семестр аяқталған кезде осы курстардың апробациясы қаралды.

Авторлар дедуктивті және индуктивті талдау әдістерін қолдана отырып, деректерді талдаудың екі сатылы процедурасын жүргізді. Курс көрсеткіштеріне сәйкес көптеген анықталған проблемалар айтарлықтай азайды.

Түйін сөздер: цифрлық құзыреттілік, қашықтықтан оқыту, цифрландыру, цифрлық платформалар, бағалау критерийлері.

Аннотация

Д. Н. Исабаева¹, Б.Б. Назкенова², Н.О. Мекебаев²

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан²

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕДАГОГОВ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье рассматриваются изменения в системе образования в период пандемии коронавируса COVID-19. Раскрыты теоретические основы термина «цифровая компетентность педагога» и проведен сравнительный анализ отношения педагогов и обучающихся к дистанционному обучению посредством социологического опроса. Основным недостатком дистанционного обучения является то, что педагоги считают, что нет прямого контакта с обучающимися, а обучающиеся чувствуют себя некомфортно, потому что они не могут учиться непосредственно у педагога. Выявлен ряд проблем дистанционного обучения и разработана программа курса для повышения цифровой компетентности педагога. Курс охватывает основы педагогического дизайна, разделы образовательных результатов, платформы для совместной работы, инструменты для создания видеолекций, платформы для мониторинга и сбора информации, цифрового отслеживания и анализа, онлайн-ресурсы для виртуальных лабораторных работ. В результате тренинга 680 преподавателей казахстанских вузов и учителей средних школ разработали собственные курсы и апробировали их в конце первого семестра.

Авторы провели двухэтапную процедуру анализа данных с использованием методов дедуктивного и индуктивного анализа. По курсовым показателям многие выявленные проблемы значительно уменьшились.

Ключевые слова: цифровая компетентность, дистанционное обучение, цифровизация, образовательные платформы, критерии оценки.

Abstract

PATH FORMING DIGITAL COMPETENCE OF TEACHERS IN DISCUSSION DISTANCE TEACHING

Issabayeva D.N. ¹ Nazkenova B.B. ² Mekebaev N.O. ²

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

The article considers changes in the education system during the COVID-19 coronavirus pandemic. Introduced the term "digital competence of the teacher" and conducted a comparative analysis of the relationship of teachers and students to distance learning through the sociological survey. The main disadvantage of distance learning is that the teacher considers that there is no direct contact with the student, and students feel uncomfortable, because they can not teach directly to the teacher. The problem of distance learning and the development of a course program to enhance the digital competence of teachers have been identified. The course covers the basics of pedagogical design, sections of educational results, platforms for joint work, tools for creating video lectures, platforms for monitoring and collection of information, digital surveillance and laboratory analysis, online analysis. As a result of the training, 680 teachers from Kazakhstan universities and teachers of secondary schools developed their own courses and tested them at the end of the first semester. The authors conducted a two-step procedure for the analysis of data using the methods of deductive and inductive analysis. Many of the problems identified by the course indicators have been significantly reduced.

Keywords: digital competence, distance learning, digital teacher, educational platforms, evaluation criteria.

Кіріспе

COVID-19 коронавирустық инфекциясының пандемиясына байланысты бүкіл әлемде балабақшалардағы білім беруден бастап жоғары оқу орындарындағы білім беру жүйелері жаңа оқу жағдайларына ауысты. 2020 жылғы 20 наурыздағы жағдай бойынша 135 елдегі мектептер мен университеттер, соның ішінде 124 ел бойынша мектептер мен университеттер толықтай қашықтан оқытуға көшсе, ал 11 ел тек кейбір аймақтарда жартылай қашықтан оқытуға мәжбүрлі көшті [1]. Соның бірі болып, Қазақстанның оқушылары мен педагогтары да қашықтықтан оқытуға көшуге мәжбүр болды [2]. Бұл жағдай білім беру мекемелерінің технологиялық дайындығын және кәсіби мамандардың цифрлық құзыреттілігінің жоғары деңгейін талап етті.

Мемлекет басшысы Қ.Қ. Тоқаев 2020 жылғы 11 мамырда Төтенше жағдай жөніндегі мемлекеттік комиссияның қорытынды отырысында сөйлеген сөзінде: "білім беруді әлдеқайда икемді ету керек, балалар мен студенттерді қашықтықтан оқыту хаттамалары мен әдістемелерін әзірлеу, еліміздің барлық оқу орындарын нақты цифрландыруды аяқтау маңызды. Қашықтықтан оқытатын заманауи технологияларды жылдамдатып енгізу қажет. Білім беру бағдарламаларының мазмұнын қайта қарап, оларды қолжетімді және интерактивті ету керек" деді [3]. Мұндай міндетті түбегейлі және сапалы деңгейде жүзеге асыру үшін білім беру мекемелерінде қашықтан оқыту платформалары мен технологияларын енгізумен қатар, педагогтардың қашықтан оқыту жағдайында жұмыс істеуге қабілеттілігін арттыру, цифрлық құзыреттілігін қалыптастыру қажеттілігі туындады.

Аталған мәселенің өзектілігін айқындау үшін бірнеше зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттеудің бастапқы кезеңінде Қазақстандағы Қашықтықтан оқытудың қазіргі жағдайы талданды. Қашықтықтан оқытудың қазіргі жай-күйін талдау виртуалды сабақ барысында белсенді әрекеттерді талап ететін дәстүрлі емес сабақ түрлеріне бейімделуде қиындықтар бар екені анықталды. Оқытушылардың мәтінмен, графикамен, аудио-видео материалдармен жұмыс істеу үшін стандартты кеңсе қосымшаларын қолдана алмауы байқалды. Техникалық проблемалар туындады, мысалы, оқыту платформасының операциялық жүйеге, браузерлерге немесе смартфонды пайдалануға сәйкес келмеуі, интернетке қосылудың төмен жылдамдығы. Интернеттегі уақытты басқару үшін уақытты басқаруды сауатсыз қолдану. Тапсырманы өздігінен бақылаусыз орындау оны кейінге қалдыруға әкелді, кейде мұғалім оқушының сабақ кезінде не істеп жатқанын, компьютер экранының алдында отырғанын немесе басқа бөлмеде ұйықтап жатқанын, тәртіп пен мақсаттылықтың болмауына байланысты байқамады. Бұл мәселелерді шешу үшін педагогтың цифрлық құзыреттілігін арттыру, сондай-ақ қазіргі заманғы педагог ең алдымен компьютерлік және цифрлық сауаттылыққа ие болуы керектігі анықталды. Зерттеудің мақсаты қашықтықтан оқыту жағдайында педагогтердің цифрлық құзыреттілігін арттыру мәселесінің шешімін іздеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Ғылыми әдебиеттерде DigComp және DigCompEdu ұғымдары бар, тақырыпты ашып, мұғалім үшін тиісті курсты әзірлеу үшін қарастырылады. "Цифрлық құзыреттілік-бұл міндеттерді орындау үшін АКТ және цифрлық медианы пайдалану кезінде қажетті білім, дағдылар, қатынастар, қабілеттер,

стратегиялар мен хабардарлық жиынтығы; мәселелерді шешу; қарым-қатынас жасау; ақпаратты басқару; ынтымақтастық; мазмұнды құру және бөлісу; және білімді тиімді, тиімді, тиісті түрде, сыни, шығармашылық, икемді, этикалық, рефлексивті түрде жұмыс, бос уақыт, қатысу, оқу және қарым-қатынас үшін жинақтау.”[4].

2017 жылдың соңында Еуропалық Одақтың білім комитеті DigitalCompetenceofEducation (DigCompEdu) мұғалімнің цифрлық құзыреттілігінің профилін жасады.

Педагогтың цифрлық құзыреттілігі (DigCompEdu) педагогтың цифрлық құзыреттілігінің алты саласын қамтиды.

1-сала кәсіби педагогикалық ортада цифрлық технологияларды қолдануға бағытталған.

2-сала цифрлық білім беру ресурстарын іздеу, құру және бірлесіп пайдаланудың кәсіби дағдыларын дамытуға бағытталған.

3-аймақ оқытуда және оқытуда цифрлық құралдарды қолданудың қажетті дағдыларын қалыптастыруға бағытталған.

4-сала оқу нәтижелерін бағалау үшін сандық құралдарды иеленумен байланысты.

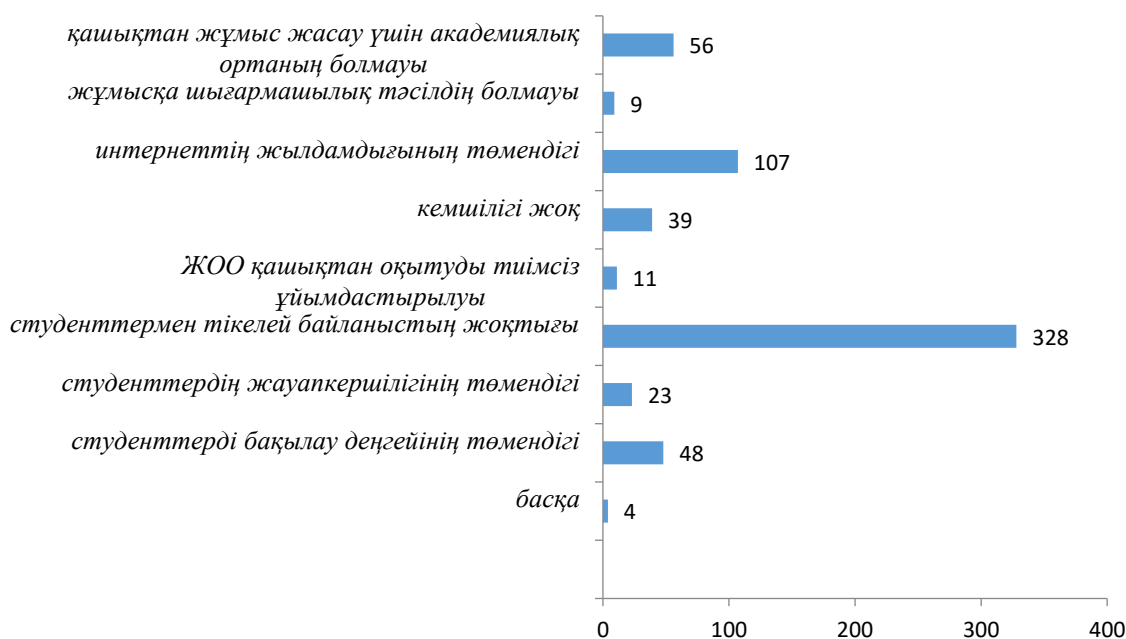
5-бағыт білім алушылардың білім алу мүмкіндіктерін кеңейту үшін цифрлық құралдарды пайдалануға бағытталған.

6-сала білім алушылардың цифрлық құзыреттілігін дамыту процесін сүйемелдеу бойынша педагог қызметінің мазмұнын анықтайды [5].

Şknur Reisoglu, Ауҫа Ҷеби (2020) зерттеуі аясында мектепке дейінгі білім беру мұғалімдерінің сандық құзыреттілігін дамытуға бағытталған оқу бағдарламасы жасалды. DigComp және DigCompEdu құзыреттерінің салыстырмалы сипаттамалары мен жалпы сипаттамасы жасалды [6,7]. Пандемияға байланысты қашықтықтан білім беру кезінде Digicomp деңгейі барлық білім беру қызметкерлеріне қажет болды, ал DigCompEdu тек тиімді оқыту үшін мұғалімнің сандық құзыреттілігіне қатысты.

Талқылау мен нәтижелері

Авторлар студенттер мен жоғары оқу орындарының оқытушылары арасында "студенттер мен оқытушылардың Қашықтықтан оқытуға бейімделуі" әлеуметтік сауалнамасын өткізді [7]. Сауалнама нәтижелері 1-суретте келтірілді. Қашықтықтан оқытудың негізгі кемшілігі оқытушылар студентпен тікелей байланыстың жоқтығын анықтады (52,5%). Оқытушылар үшін студенттерді оқытуда "жанды" қарым-қатынас, эмоционалды қатынас, тікелей кері байланыс алу өте маңызды. Студенттер (40%) мұғалімнің аузынан тікелей білім ала алмағаны үшін ыңғайсыздық сезінеді (2-сурет).



Сурет 1. Қашықтықтан оқытудың кемшіліктері туралы оқытушыларға жүргізілген сауалнама көрсеткіштері (Оқытушылар көзқарасымен)



Сурет 2. Қашықтықтан оқытудың кемшіліктері туралы студенттердің сауалнамасының көрсеткіштері

Қалай болғанда да, студенттердің оқудағы әлеуметтік қарым-қатынасы және өзара әрекеттестігі, *facetoface* (күндізгі) оқытушысымен жұмыс істеу қазіргі уақытта тек университетте ғана емес, сонымен қатар әртүрлі деңгейдегі білім беру қызметтерін ұсынатын басқа да білім беру ұйымдарында дәстүрлі түрде қалыптасқан оқыту нысаны болып табылады[8]. Жалпы білім беру жүйесінің консерватизмін және жаңа нәрсені енгізу мен одан әрі қабылдаудың қиындықтарын ескере отырып, екі аудиториядан алынған жауаптар көп немесе аз болжалды деп сеніммен айтуға болады. Сондықтан, кемшіліктерді қашықтықтан анықтау бойынша жауаптарға назар аударып, қашықтықтан оқытуды ЖОО-да іске асыру қиын іс деп 100% санауға болмайды.

Жоғары оқу орындарының, орта кәсіптік оқу орындарының, біліктілікті арттыру курстарының бағдарламаларына қашықтықтан оқытуды ұйымдастыру үшін, осы жағдайларда қалай дұрыс жұмыс істеу және қолда бар педагогикалық технологияларды тиімді пайдалану, ат құзыреттерін дамыту үшін арнайы модульдер енгізілгені анықталды.

Сондай-ақ, зерттеу педагогтің цифрлық құзыреттілігінің төмендігіне байланысты ІТ мүмкіндіктерді пайдалана отырып, жаңа педагогикалық технологиялардың жеткіліксіз пайдаланылғанын көрсетті[9].

Осыған байланысты, барлық алты сала бойынша педагогтің цифрлық құзыреттілігін дамыту үшін біз екі апта (72 сағат) бойы өткен "Цифрлық педагог" онлайн курсының бағдарламасын әзірледік.

Курс бағдарламасының негізгі тақырыптарын келтірейік:

Білім беру нәтижелерінің айдарлары. "Discord" педагогикалық қарым-қатынас құралы ретінде. Google Drive-да жұмыс істеу (Google Drive).

Педагогикалық дизайн негіздері.

Бірлескен жұмыстарға арналған платформалар: miro.com, padlet.com, mentimeter.

Бейне дәрісін құруға арналған құралдар: масштабтау, Google Meet, Mobstudio, EDpuzzle, Socrative. Univer және YouTube жүйесіне бейне дәрістерді жүктеу.

Бақылау және ақпарат жинау платформалары: Kahoot, QuizLET, Quiz. Сандық із және талдау.

Білім беру материалдарын жобалау және білімді тексеру – Core.app. Зертханалық жұмыстарға арналған онлайн ресурстар.

Дәріс және практикалық жұмыстар барысында қашықтықтан білім берудегі оқыту нәтижелерімен қалай байланыстыру керектігін білу үшін сандық із негізінде оқыту нәтижелерін бағалауды қалыптастыру үшін қажетті білім беру цифрлық платформалары мен ресурстарының кең таңдауы берілді [10]. Теориялық блокта тыңдаушыларды таныстыру және педагогикалық қызметте одан әрі қолдану мақсатында Zoom, Googlemeet, MsTeams және т.б. түрлі ағындық платформаларды пайдалана отырып, 200 педагогке дәріс сабақтары өткізілді.

Практикалық блокта мұғалімдер тәлімгермен Discord көмегімен жұмыс жүргізілген топтарға бөлінді. Әр мұғалім алдымен білім беру іс-әрекетінің рубрикаторын жасап, Discord көмегімен өзінің виртуалды аудиториясын құрды. Содан кейін ол өз курсының педагогикалық дизайнын жасады. Курс

жағдайында білім алушыларды педагогикалық қолдау, дұрыс жобаланған оқу курстары мен оқытушылар жетекші рөл атқаратынын көрсетті. Оқытудың тиімді нәтижесін алу үшін оқытушы педагогтың цифрлық құзыреттілігіне ие болуы тиіс. Педагогтың цифрлық құзыреттілік жүйесінің синтезі пандемия жағдайында педагогтарды даярлау және біліктілігін арттыру практикасын таратуды мақсат етеді, бұл барлық білім алушылардың білім беру ресурстарына тең қол жеткізуін қамтамасыз етуге, оқыту сапасын арттыруға, педагогтердің кәсіби дамуына, қашықтықтан білім беруді тиімді басқаруға ықпал етеді.

Алғыс білдіреміз

Курс ҚазҰПУ - да өткізілді. 2019-2020 оқу жылында Қазақстанның жоғары оқу орындарының 680 ПОҚ және жалпы білім беру мектептерінің мұғалімдері төрт ағымға қатысты.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 "COVID-19 Educational Disruption and Response". UNESCO. 2020-03-04. Retrieved 2020-05-24.
- 2 <https://liter.kz/sistema-obrazovaniya-kazahstana-v-usloviyah-pandemii-pervye-uroki>
- 3 <https://liter.kz/47998-2/>
- 4 Ferrari, A. (2012). *Digital competence in practice: An analysis of frameworks*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2791/82116>
- 5 Akramova, A; Kerimbayev, N, Khakimova T, Issabayeva D. *Historical and philosophical aspects in ethnomathematical education of the republic of kazakhstan*. 10th international conference of education, research and innovation (ICERI2017). P.: 4002-4007. 2017
- 6 Редекер К. *Европейские рамки цифровой компетентности педагогов: DigCompEdu [Электронный ресурс] / К. Редекер, Я. Пунье. -Брюссель: Объединенный исследовательский центр, Европейский Союз, 2017. - Режим доступа: <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu>*
- 7 Ilknur Reisoglu, Ayça Çebi. *How can the digital competences of pre-service teachers be developed? Examining a case study through the lens of DigComp and DigCompEdu*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013152030138X?via%3Dihub>
- 8 Elissa, K. "Title of paper if known," unpublished.
- 9 R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- 10 Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- 11 M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

References:

- 1 "COVID-19 Educational Disruption and Response". UNESCO. 2020-03-04. Retrieved 2020-05-24(In English)
- 2 <https://liter.kz/sistema-obrazovaniya-kazahstana-v-usloviyah-pandemii-pervye-uroki>
- 3 <https://liter.kz/47998-2/>
- 4 Ferrari, A. (2012). *Digital competence in practice: An analysis of frameworks*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2791/82116>(In English)
- 5 Akramova, A, Kerimbayev, N, Khakimova T, Issabayeva D. (2017) *Istoriko-filosofskie aspekty v etnomatematicheskom obrazovanii Respubliki Kazakhstan*. [Historical and philosophical aspects in ethnomathematical education of the republic of kazakhstan] 10-ya mezhdunarodnaya konferentsiya po obrazovaniyu, issledovaniyam i innovatsiyam 4002-4007(In English)
- 6 Redeker K. (2017) *Evropeyskie ramki tsifrovoy kompetentnosti pedagogov: DigCompEdu [The European framework of digital competence of teachers: DigCompEdu] [Elektronnyy resurs] / K. Redeker, Ya. Punie. -Bryussel': Ob"edinennyi issledovatel'skiy tsentr, Evropeyskiy Soyuz*. *Rezhim dostupa: <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu>* (In Russian)
- 7 Ilknur Reisoglu, Ayça Çebi. *How can the digital competences of pre-service teachers be developed? Examining a case study through the lens of DigComp and DigCompEdu*. (In English) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013152030138X?via%3Dihub>
- 8 K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished. (In English)
- 9 R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," *J. Name Stand. Abbrev.*, in press. (In English)
- 10 Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982]. (In English)
- 11 M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989. (In English)

Г.А. Мадьярова¹, Н.Ш. Ешенқожаев^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: sadd900@mail.ru

ОРТА МЕКТЕПТЕ PYTHON ПРОГРАММАЛАУ ТІЛІН ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа

Бұл мақалада жалпы білім беретін орта мектептің 6-сыныбында Python программалау тілін оқыту мәселелері қарастырылады. Білім беру платформаларындағы жалпыға қолжетімді Python программалау тілі бойынша мектеп бағдарламасына сәйкес құрастырылған ресурстарға салыстырмалы талдау жасалды. Бірқатар критерийлер бойынша кең тараған YouTube арнасындағы білім беру ресурстарын талдау барысында қазақ тіліндегі қолжетімді сабақтардың жеткіліксіз екендігін анықтадық. Өте танымал білім ресурстарының жетістіктері мен құрылымдық артықшылықтары зерделенді. Орта мектепте оқытудың теориялық негіздеріне және сараптамалық талдау нәтижелеріне сүйене отырып, Python программалау тілін оқыту курсының мазмұндық құрылымы анықталды. Зерттеу жұмысының барысында құрастырылған оқыту курсының тиімділігі жалпы білім беретін орта мектепте жүргізілген эксперимент нәтижелері арқылы көрсетіледі. Python программалау тілін үйрету бойынша білім беру ресурсы Canvas LMS платформасының көмегімен жасалды.

Түйін сөздер: Python тілі, алгоритмдеу, программалау, білім беру ресурсы, LMS Canvas ортасы, Bigbluebutton бейне конференциясы.

Аннотация

Г.А. Мадьярова¹, Н.Ш. Ешенқожаев¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

В статье рассматриваются вопросы преподавания языка программирования Python в 6 классе средней общеобразовательной школы. Проведен сравнительный анализ ресурсов на образовательных платформах, составленных в соответствии со школьной программой по общедоступному языку программирования Python. В ходе анализа образовательных ресурсов YouTube, распространенных по ряду критериев, мы выявили недостаточное количество доступных уроков на казахском языке. Изучены достижения и структурные преимущества популярных образовательных ресурсов. На основе теоретических основ преподавания в средней школе и результатов экспертного анализа определена содержательная структура курса обучения языку программирования Python. Эффективность курса обучения, составленного в ходе исследовательской работы, излагается через результаты эксперимента, проведенного в общеобразовательной средней школе. Образовательный ресурс по обучению языку программирования Python создан с помощью платформы Canvas LMS.

Ключевые слова: Python, алгоритмизация, программирование, образовательный ресурс, среда LMS Canvas, Видео конференция Bigbluebutton.

Abstract

METHODOLOGY OF TEACHING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE IN HIGH SCHOOL

Madyarova G.A.¹, Eshenkozhayev N.Sh.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

This article discusses the problems of teaching the Python programming language in the 6th grade of a general secondary school. A comparative analysis of resources compiled in accordance with the school curriculum for the public Python programming language on educational platforms was carried out. During the analysis of educational resources on YouTube, which are widely distributed according to a number of criteria, we found that there are not enough available lessons in the Kazakh language. The achievements and structural advantages of very popular educational resources are studied. Based on the theoretical foundations of high school education and the results of expert analysis, the content structure of the Python programming language course is determined. The effectiveness of the training course compiled in the course of the research work is reported by the results of an experiment conducted in general education secondary schools. An educational resource for teaching the Python programming language was created using the Canvas LMS platform.

Keywords: Python, algorithmization, programming, educational resource, LMS environment with Canvas, Bigbluebutton video conference.

Кіріспе

Жаңартылған оқу бағдарламасы бойынша орта мектепте информатика мазмұнында Python программалау тілі орын алып отыр. Stack Overflow, GitHub, JetBrains, TIOBE, Statista және PYPL деректерін талдау бойынша 2021 жылы Python-ға сұраныстың қаншалықты үлкен екенін нақты айта аламыз. Python тілін көбінесе Java, JavaScript және C++ сияқты кең тараған, танымал басқа тілдермен салыстырылады. Біз Google Trends-ті 2020 жылдың ақпанынан 2021 жылдың ақпанына дейін бүкіл әлемдегі Google іздеу сұрауларында осы тілдердің танымалдылығын бағалау үшін қолдандық. Осы салыстыру диаграммасы бірінші орында – Python, одан кейін Java және JavaScript бағдарламаларын көрсетті. Бұл Python тілінің танымалдылығының жыл сайын артып отырғандығын білдіреді. Python тілінің кең танымалдылығы көптеген операциялық жүйелерде жеңіл орындалатындығымен, синтаксисінің қарапайымдылығы, тегін жүктелетіндігі, жоғары деңгейлі мәліметтер құрылымының (тізімдер, жиындар, ассоциативті жиындар, ұзын арифметика), объектіге бағытталған бағдарламалау құралының, графикалық web-қосымшаларды оңай өңдеуге болатын бай кітапханасының болуымен түсіндіріледі.

Зерттеу барысындағы сараптамалық талдаулар оқулықтар мен оқу құралдарында программалау тілі бойынша қажетті материалдар жеткілікті болғанымен оқушылардың өз бетінше жұмыс жасауы үшін қолжетімді білім беру ресурстарының аз екендігін көрсетті. Python программалау тілі бойынша оқушылардың сабақ кезінде және сабақтан тыс уақытта өз бетінше жұмыс жасауға арналған білім беру ресурстарын құрастыру және оның қолжетімділігін қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі болып саналады.

Бұл мақалада жалпы білім беретін мектептерде «Информатика» пәнін оқытудың маңызды мәселелері қарастырылған. Қоғам дамуының қазіргі кезеңінде ақпараттық процестер шешуші рөл атқарады. Қазіргі уақытта адам қызметінің бірде-бір саласы қолданылатын ақпараттық технологиялардың сапасына белгілі бір дәрежеде тәуелді бола алмайды. Дәл осы себепті информатика ақпаратты өңдеу, сақтау және беру әдістері туралы ғылым ретінде қазіргі уақытта өзінің дамуында теңдесі жоқ секірістерді бастан кешіруде.

Программалау тілдерін оқыту мәселелері отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектерінде жеткілікті түрде жан-жақты зерттелгеніне қарамастан, ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялардың үнемі дамуы информатика курсының сәйкес тараулары бойынша қолданыстағы әдістемелік оқыту жүйесін жетілдіруді талап етеді.

Информатика пәнін оқытуда объективті және субъективті мәселелерді ажыратуға болады. Педагогикалық практиканы жан-жақты өзгертпей және информатиканы оқыту теориясын жетілдірмей объективті мәселелерді шешу мүмкін емес, өз кезегінде мұғалімнің өзі әдіскерлердің қолдауымен субъективті мәселелерді шешуге тырысады. Информатиканы оқытудағы аталған мәселелер мен қайшылықтарды білу мұғалімге оларды шешуге немесе олардың ауырлығын жеңілдетуге көмектеседі. Сонымен қатар, бұл мәселелерді тану мектепте информатиканы оқыту әдістемесін жетілдіру бағытын көрсетеді, яғни мұғалімнің эксперименттік және ғылыми-әдістемелік жұмысының бағытын анықтайды.

Программалауды оқыту кезінде бар бөлек программалау курстарын пайдалана отырып, барлық аталған парадигмалардың ерекшеліктерін дәйекті зерттеуден өту мүмкін еместігінің маңыздылығын атап өткен жөн, өйткені бұл жағдайда:

– білім берудің әртүрлі және бір-бірімен байланысы жоқ әдістемелік жүйелері бар, сондай-ақ білім берудің мақсаттары мен мазмұны, қолданылатын құралдары мен әдістері әртүрлі;

– программалау тілдерінің алгоритмдері мен конструкцияларын жасау тәсілдерін салыстыру мүмкін емес;

– әдістемелік жүйелердің жиынтығы ақпаратты өңдеу үшін шешілетін мәселені талдау және белгілі бір мәселені ең оңтайлы шешудің парадигмасын таңдау дағдыларын меңгеруді қамтамасыз етпейді.

Жоғарыда айтылғандардың барлығы осы зерттеу тақырыбының өзектілігін анықтайды.

Әдебиеттерге шолу

Бағдарламалау тілін оқытудың кешенді тәсілдері арқылы білім сапасын арттыру мәселелерін шешуде компьютерлік модельдеу және 3D графикалық технологияларды пайдалану А.А.Мартынюктің еңбегінде қарастырылған [1]. Осы еңбекте білімді жүйелеу және сәйкес технологияларды енгізу арқылы оқушыларды ынталандыру деңгейін арттыруға, жобалық іс-әрекет

дағдыларын қалыптастыруға, пәнаралық байланысты нығайтуға, сонымен бірге олардың кәсіби және тұлғалық өз бетінше білім алуына ықпал ететін факторлар анықталған. Л.Л. Босова Ресей мектептерінде бағдарламалау тілдерін оқыту тәсілдерін және оқытудың артықшылықтары мен кемшіліктерін зерттеп, анықтаған [2]. АҚШ, Еуропа және Азия елдеріндегі мектеп оқушыларына бағдарламалауды оқытудың қазіргі жағдайы талданады. Мектеп оқушыларына бағдарламалау тілін оқытудың оқытуды ерте бастау, міндетті және үздіксіз бағдарламалауды оқыту, бағдарламалаудың әртүрлі заманауи орталары, бұлттық қызметтерді қолдану, жобалық тәсіл және бағдарламалау тілін оқыту әдістемесі, жұмыстың командалық формасы сияқты негізгі халықаралық тенденциялары анықталды: О.А. Кочеткова мен Ю.Н. Пудовкинаның [3] зерттеуінде электрондық оқу құралын пайдалана отырып, мектеп оқушыларын Python тілінде бағдарламалауды оқыту әдістемесі талқыланады. Сонымен қатар, орта мектепте Python бағдарламалау тілін оқыту оқушылардың бірыңғай мемлекеттік емтиханға және олимпиадаларға дайындық сапасын арттыратындығы көрсетілген. Д.С. Попкованың ғылыми мақаласында информатика пәнінен оқушыларға бағдарламалау тақырыптарын оқытуға арналған негізгі педагогикалық әдістердің өзара байланысы мен өзектілігін қарастырған. Инновацияларға байланысты фқпараттық технологиялар тақырыптарын, оның ішінде бағдарламалау тақырыптарын енгізу оқушыларға технологиялар және бағдарламалау тілдері туралы базалық білімді қалыптастыру тәсілдерін қарауды талап ететіндігі көрсетілген [4].

Білім беру жүйесінде бағдарламалау тілдері бойынша сабақтар өткізудің артықшылықтары мен кемшіліктері Makeichik E.G. еңбегінде қарастырылған. Бағдарламалау пәндерінен дәріс-практикумды қолдану мүмкіндігі талданып оқытудың аралас түрін қолдану ұсынылған [5]. Информатика пәні бойынша бағдарламалау тілдерін үйренудің негізгі бағыттары және Информатика және АКТ бойынша бірыңғай мемлекеттік емтиханда қолдануға болатын бағдарламалау тілдері (Basic, Pascal, C, Python, алгоритмдік тіл) мен олардың негізгі ерекшеліктері ғылыми еңбектерде талданып, салыстырмалы талдаулар жасалған. Python бағдарламалау негіздері элективті және негізгі пән бағдарламасы ретінде оқытуға ұсынылып, мақсаттары мен міндеттері, тақырыптық жоспарлау, курстың мазмұны, оқытудың болжамды нәтижелері кеңінен көрестелген [6,7,8].

Әдістер мен құралдар

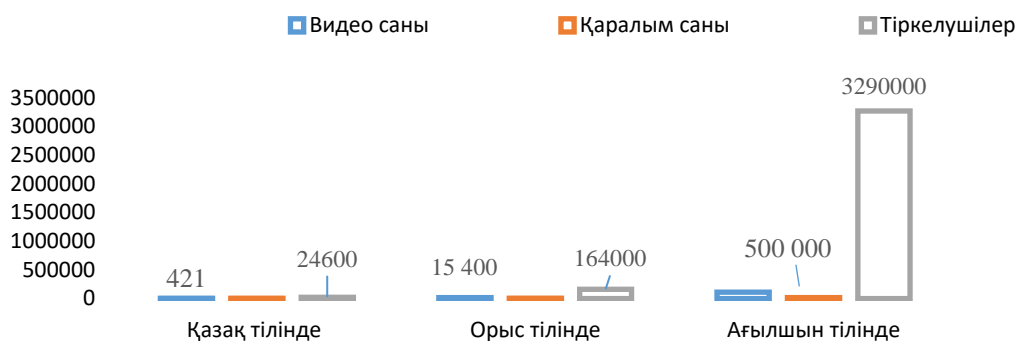
Теориялық және мазмұндық құрылымды анықтау мақсатында және әдістемені қалыптастыруда әдеби шолу, салыстырмалы талдау, эксперимент нәтижелерін талдау қолданылды. Білім беру ресурсы LMS Canvas ортасында қалыптастырылды. Зерттеу мақсатына сәйкес құрастырылған білім беру ресурсының тиімділігін анықтау барысында сандық және сапалық талдау әдістерін қолданып, көрнекі түрде диаграммалар арқылы ұсындық. Нақты уақыт режимінде Bigbluebutton бейне конференциялары, арнайы келісімді факультативтік сабақтар, ынтымақтастық бөлімінде бірігіп жұмыс істеуге арналған цифрлық сервистер мен бірге оқушылардың сабаққа қатысуын мониторинг жасау әдістерін қолдандық.

Көпшілікке ашық және тегін қолдануға мүмкіндік беретін YouTube арнасындағы Python тілін үйренуге арналған 6 сынып оқушылары деңгейіне бағытталған бірқатар сабақтарға талдау жасайық. Бұл салыстырмалы талдауда арнадағы үш тілдегі материалдарды келесі критерийлер бойынша: видео, қаралым саны, тіркелушілер саны туралы диаграмма арқылы көрсеттік (1-сурет).

Талдау нәтижесі көрсеткендей арнаға жүктелген бейнесабақтар саны қазақ тілінде аз болғанымен, орыс және ағылшын тіліндегілермен салыстырғанда қаралым саны және тіркелушілер санының салыстырмалы коэффициенттері шамамен 3 және 60 еседей артық екендігі, оған сұраныстың өте жоғары екендігін білдіреді.

| | | |
|-----------------------------------|---|-----------------|
| Тіркелушілер саны/ Бейнесабқ саны |  | 1219/421= 2,89 |
| Қаралым саны / Бейнесабқ саны |  | 24600/421= 58,4 |

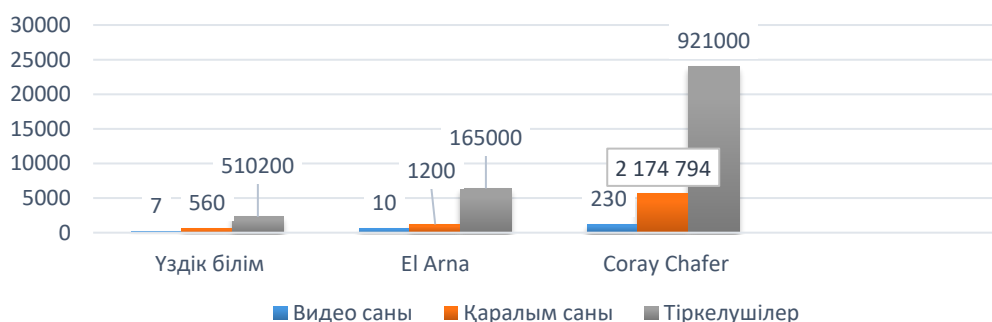
Үш тілдегі каналдар бойынша салыстырмалы талдау



Сурет 1. Үш тілдегі каналдардың жалпы салыстырмалы талдауы*
*Деректер өзгермелі (25.04.2022 жылы мәліметтер алынған)

Диаграммада көрсетілгендей қаралым саны жағынан көп үш тілді арналардың ішінен: Үздік білім және El Arna мен Coray Chafer таңдап алдық (2-сурет).

ҮШ ТІЛДЕГІ КАНАЛДАРДЫҢ ІШІНДЕГІ ҮЗДІКТЕРІ



Сурет 2. Үш тілдегі каналдардың ішіндегі үздіктері*
*Деректер өзгермелі (25.04.2022 жылы мәліметтер алынған)

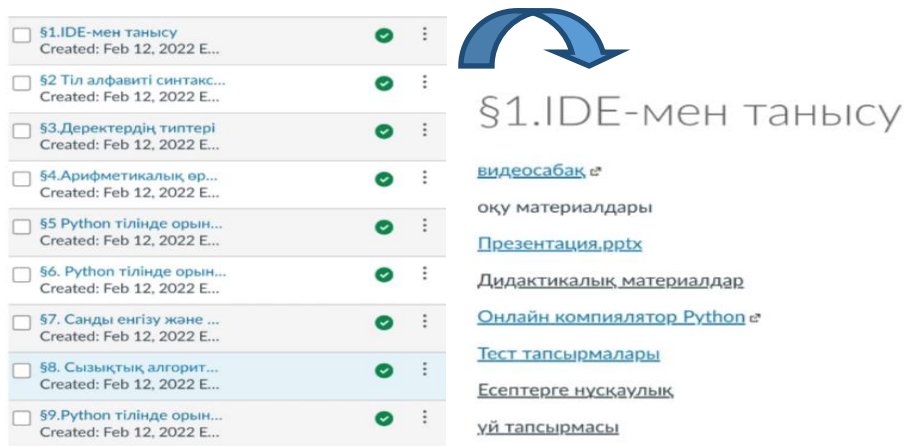
Келесі кестеде қазақ тіліндегі сабақтарды өзара қаралым саны, сабақ саны, ұзақтығы, соңғы қаралым уақыты, комментарилер саны және қолдау саны сияқты критерийлер арқылы салыстырдық (3-кесте). Кестеде көрсетілгендей қазақ тіліндегі Үздік білім және Online Education арналарын қаралымы саны көп болғандықтан таңдадық.

Кесте 3. Кең тараған қазақ тіліндегі арналарды салыстырмалы талдауы

| № | Қаралым саны | Сабақ саны | Түсіндіру әдісі | Ұзақтығы | Соңғы қаралым уақыты | Комментарийлер саны | Қолдау саны |
|------------------|--------------|------------|-----------------|----------|----------------------|---------------------|-------------|
| Үздік білім | 5100 | 6 | Кітаппен | 25-60 | 1 ай бұрын | 32 | 138 |
| Online Education | 6012 | 9 | Программа-мен | 7-19 | 2 күн бұрын | 15 | 126 |

Үздік білім арнасында Python тілін орнатудан бастап жеке тақырыптар бойынша теориялық және практикалық жағынан толық түсіндірілген. Online Education арнасында Python бағдарламалау бойынша практикалық есептерді шығарып түсіндіреді. Осы арналардағы материалдарды талдау нәтижесінде сабақты түсіндіру уақыты, кері байланыс жасау мақсатында тапсырмаларды, тест сұрақтарын, бағдарламалау ортасын бір платформаға жинақтау қажет деген қорытындыға келдік.

Жоғарыдағы зерделенген ғылыми әдебиеттер мен талдауларды негізге ала отырып, Информатика пәнінен Python программалау тілі бойынша қазақ тіліндегі оқыту курсының мазмұндық құрылымын анықтадық. Жалпы білім беруге арналған орта мектептің білім беру стандартын басшылыққа ала отырып, 6 сыныпқа арналған тақырыптар бойынша материалдар іріктелді. Зерттеу барысында оқуды басқару платформаларына салыстырмалы талдау жасалды, нәтижесінде Canvas платформасы таңдалып алынды. Білім беру ресурсын Canvas LMS жүйесіне топтастырдық (3-сурет). Canvas LMS - ашық коды бар бұлтқа негізделген, мұғалімдерге де, оқушыларға да қызықты оқу ортасын қолжетімді ету арқылы олардың мүмкіндіктерін кеңейтуге арналған. Мұғалімдерге оқушылар білім алу үшін арнайы әзірленген бейне негізіндегі оқыту және бірігіп жұмыс істеу құралдарын пайдалануға мүмкіндік береді. Авторлық бейне сабақтарды түсіру, тест сұрақтары, викториналар презентациялар, дәрістер, оқу материалдары дайындау барысында бағдарламалау тілін оқытудың әдістемелік ерекшеліктері башылыққа алынды. Сонымен қатар, әртүрлі дидактикалық материалдар, есептерге нұсқаулық, үй тапсырмалары, жеке тапсырмалар, топтық тапсырмалар жасалды. Бірінші сабақтан бастап оқушылар, практикалық жұмыс жасау негізінде, Python тілінде код жазуды үйренеді.

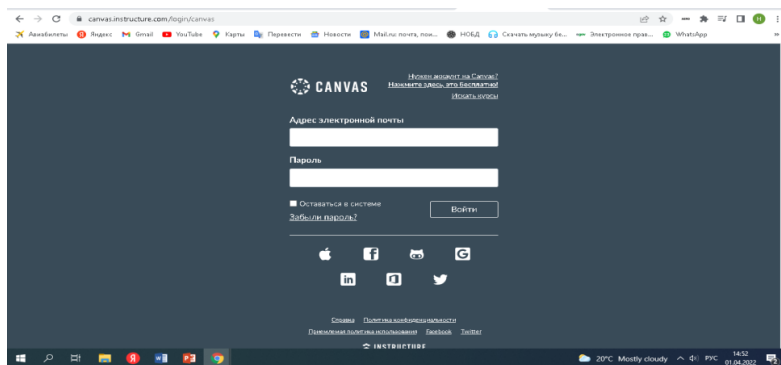


Сурет 3. Canvas LMS жүйесінде жасалған курстың мазмұндық құрылымы

Осы білім беру ресурсының тағы бір артықшылығы, тек компьютермен емес, смартфонмен де тапсырмаларды орындап, платформа арқылы мұғаліммен кері байланыс жасау мүмкіндіктерін ескердік. Оқушылар мектепте және үйде осы құрылғылармен тапсырмаларды орындай алады. Қашықтан оқу кезінде бұл платформа таптырмас оқыту құралдарының бірі болып табылады, себебі бұл жерде синхронды және асинхронды оқыту мүмкіндігі қарастырылған.

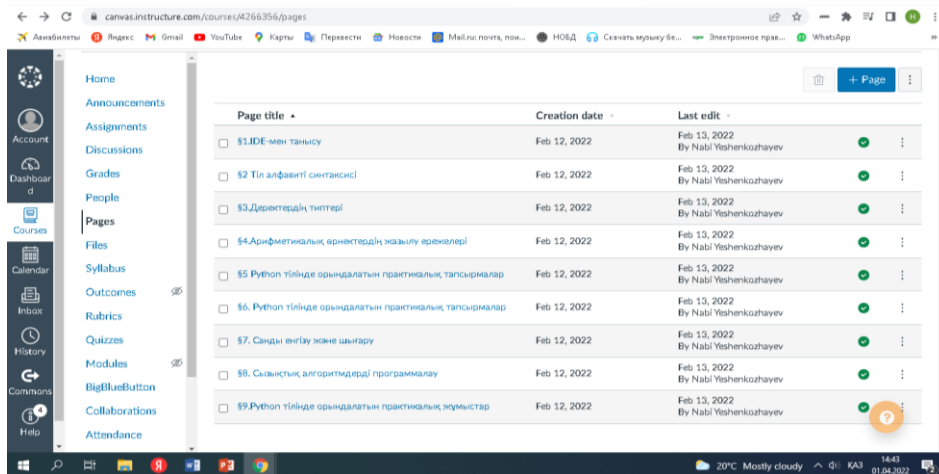
Зерттеудің нәтижелері және талқылануы

Canvas платформасында Python программалау тілі бойынша оқу материалдары топтастырылып, білім беру ресурсы жасалды. Біріншіден, Python программалау тілі бойынша теориялық сабақтар мен практикалық тапсырмалардан тұратын материалдар жинақталды. Жеке тақырыптар бойынша тест тапсырмалары, бейнесабақтар, презентация құрастырылды. Білім беру ресурсын пайдалану үшін, әуелі платформаға тіркеліп, сол логин мен құпиясөз арқылы кіреміз (4-сурет).



Сурет 4. Canvas білім беру ресурсының бастапқы беті

Әр бөлімде тақырып бойынша 9 бейне сабақ, 10 сұрақтан тұратын тест тапсырмалары және жеке тапсырмалар жасалған (5-сурет).

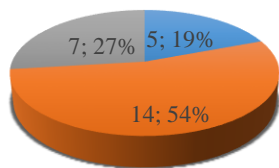


Сурет 5. Canvas білім беру ресурсында жүктелген жалпы оқу курсының мазмұны

Зерттеу нәтижесінде құрастырылған LMS Canvas платформасындағы білім беру ресурсын мұғалімдер мен оқушылар пайдалану үшін қол жетімді платформаға логин мен құпиясөз арқылы тіркелу жеткілікті. Python бағдарламалау тілінің алфавитінен бастапқарапайым бағдарламалау элементтерінің түсіндірулері және тапсырмаларды орындау арқылы алынған білімді бекітуге болады. Құрастырылған білім беру ресурсының тиімділігін тексеру мақсатында жалпы білім беретін орта мектептерде арнайы эксперимент жұмыстары жүргізілді. Информатика пәнін оқыту барысында Canvas платформасында арқылы 6-сыныптарға Python программалау тілі бойынша құрастырған білім беру ресурсын пайдалану ұсынылды. Платформадағы оқу материалдарын пайдаланған оқушылардың оқу үлгерімі біршама жақсарып, пәнге деген қызығушылықтары арта бастағанын байқадық. Сандық және сапалық талдау жасау мақсатында тақырып бойынша дискуссиялар ұйымдастырып, осы қолданбада сынып журналын қалыптастырдық. Сонымен бірге курс аясында арнайы келісімді факультативтік сабақтар ұйымдастырып, Веб-парақшалар жасау, енгізілген файлдарды басқару, пәннің мазмұнын бойынша ұсыныстар құру, пән бойынша оқу нәтижелерін бақылау, жоспарды тарауларға бөлу, тест сұрақтарын қалыптастыру, модульдер бойынша топтау әрекеттерін жасауға белсенді оқушыларды қатыстырдық. Сондай-ақ, онлайн оқу кезінде Bigbluebutton бейне конференциясын нақты уақыт режимінде сабақ өту үшін пайдаландық. Ынтамақтастық бөлімінде оқушылар «Google docs» қызметі арқылы бірігіп жұмыс істеп, қатысу бөлімінде оқушылардың сабаққа қатысуын мониторинг жасадық. Талдау бөлімінде оқу үлгерімдерін талдау жасауға, баптау батырмасы арқылы курсты басқаруға болады. Canvas-та оқушылармен хат алмасу, басқа курстарға қосылуға мүмкіндіктері де кеңнен қарастырылған. Зерттеуге информатика пәнінен 6-сынып оқушылары қатыстырылды. Экспериментке 26 оқушы қатысты.

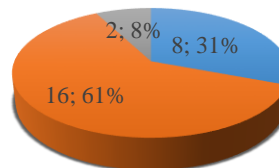
Оқушылардың экспериментке дейінгі (6-сурет) оқу үлгерімдері мынадай болған: өте жақсы-6(13%), жақсы-13(36,4%), қанағаттанарлық-7(18,2%). Эксперименттен кейін (7-сурет) оқушылардың оқу үлгерімдері мынадай болды: өте жақсы-8(31%), жақсы-14(54%), қанағаттанарлық-4(15%).

Оқу үлгерімдері



■ өте жақсы ■ жақсы ■ қанағаттанарлық

Оқу үлгерімдері



■ өте жақсы ■ жақсы ■ қанағаттанарлық

Сурет 6. Экспериментке дейінгі оқу үлгерімдері

Сурет 7. Эксперименттен кейінгі оқу үлгерімдері

Зерттеудің ғылыми маңыздылығы астыда көрсетілген:

1. Жалпы білім беретін мектептерде программалауды оқытудың әдістемелік жүйесін жетілдіру қажеттілігі Python программалау тілін оқыту жүйесін әзірлеу және енгізу арқылы негізделеді. Әзірленген курстың жаңалығы барлық программалау парадигмаларын оқытуға және оқушылардың шешілетін мәселені талдауға және сәйкес компьютерлік бағдарламаны құру үшін ең тиімді парадигманы таңдауға дайындығын дамытуға бағытталған;

2. Оқушылардың ақпаратты өңдеудің қойылған практикалық міндетін тиімді шешу қабілетін дамытудың әдістемелік тәсілдері айқындалады, олар шешілетін мәселені талдаудан, әртүрлі программалау парадигмаларына тән тілдік құралдарды салыстырмалы талдаудан тұрады. Оқытудың оңтайлы әдісін таңдау компьютерлік бағдарламаны құру процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді;

3. Python программалау тілі бойынша онлайн оқыту курсы әзірленді, оны тыңдаушылар иерархиялық құрылымдар түрінде әртүрлі программалау парадигмаларына қатысты тілдердегі бағдарламаларға құрды, бұл салыстырмалы оқытудың жаңа құралдарын алуға мүмкіндік берді.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы Python программалау тілінде оқыту курсы әзірлеу негізінде және оқыту нәтижелерінің жаңа сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін программалауды оқыту мазмұнын дамытудың тұжырымдамалық тәсілдерін негіздеуде болып табылады.

Зерттеудің практикалық құндылығы осы зерттеу нәтижесінде әзіргелідегі программалау тілі бойынша құрылған ашық білім беру ресурсы орта мектептің Python программалау тілін оқыту үдерісінде және осы тілді өз бетінше үйрену үшін, қосымша факультативтік, үйіме сабақтарында кеңінен қолдануға болады.

Қорытынды

Осы зерттеу жұмысының барысында келесі міндеттер атқарылды: үш тілдегі каналдарға және қазақ тіліндегі каналға салыстырмалы талдаулар жасалды, осы талдауларға сүйеніп, білім беру ресурсының мазмұндық құрылымы анықталды. Жалпы білім беретін орта мектепте бағдарламалау тілін оқытудағы тәжірибелер талданды, Python программалау тілін оқытудың тиімді әдістері анықталды. Зерттеу нәтижесінде құрастырылған, білім беру ресурсы эксперименттен өткізіліп, оң нәтижелер берді.

Бұл білім беру ресурсын синхронды және асинхронды оқытуда қолдану мүмкіндігі қарастырылды. Оқушылармен нақты және кез келген уақытта кері байланыс орнату мүмкіндігі де ресурстың қол жетімділігін арттырады. Оқушыларға көрнекі және қарапайым түрде Python бағдарламалау негіздерімен таныстыруға келесі мүмкіндіктерді береді:

- білім алушының ағымдағы білім деңгейіне қарай оқыту бағдарламасының күрделілік деңгейін таңдау;
- оқушыларды Python бағдарламалау тілінде тапсырмаларды орындаудың практикалық мысалдарымен және нұсқаларымен таныстыру;
- объектілі-бағытталған бағдарламалау принциптерін пайдалана отырып, бағдарламалау дағдыларын дамыту.

Осы зерттеу жұмысының барысында әзіленген бейнесабақтар YouTube арнасына да жүктелді. Бұл осы білім беру ресурсының оқушыларға қолжетімділігін қамтамасыз ету болып табылады. Осы бағыттағы зерттеулердің болашағы зор, себебі танымал бағдарламалау тілдерін меңгеру мәселесін шешу болашақтағы қажетті дағдылардың бірі болып есептеледі.

Алғыс айту

Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыруы есебінен № АР09259370 "Жасанды интеллект тәсілдеріне негізделген виртуалды оқытудың технологиялық платформасын жасау" жобасы аясында орындалды.

Пайданылған әдебиеттер тізімі:

1 Мартынюк А.А. Интегрированный подход при обучении программированию в средней школе// Интерактивная наука. - 2018. - №2 (24). - С.21-24.

2 Босова Л.Л. Как учат программированию в XXI веке: отечественный и зарубежный опыт обучения программированию в школе// Информатика в школе. -2018. - №6 (139). – С.3-11

3 Кочеткова О.А., Пудовкина Ю.Н. Обучение учащихся программированию на языке Python в рамках элективного курса по информатике// *Современные проблемы науки и образования*. -2019. -№2. –С.59

4 Попкова Д.С. Современные подходы к обучению веб-программирования учащихся на уроках информатики в средней школе// *Педагогика и современное образование: традиции, опыт и инновации. Сборник статей V Международной научно-практической конференции*.-2019. -С.43-45.

5 Makeichik E.G., Chepikova V.V., Tsvetkov V.YU. Teaching methodology of programming disciplines on the basis of combined form of learning// *Engineering education: Challenges and developments. Статья в сборнике трудов конференции*.-2020.-С.148-151

6 Кривописьова Е.В., Нефёдова В.Ю., Прилепина А.В. Методика обучения основам программирования на языке Python// *Информатика в школе. Статья в журнале - научная статья*. -2020. -№3(156).-С.24-30.

7 Меметова Ф.С. Компоненты методики обучения визуальному программированию// *Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. Статья в журнале - научная статья*.- 2021.-№3 (33). С.43-48

8 Михеев И.В., Кондратов Д.В., Виштак О.В. методика работы с основными функциональными возможностями тестирующего программного комплекса для обучения программированию// *перспективные информационные технологии. Статья в сборнике трудов конференции*.-2017. С.1081-1085

References:

1 Marty`nyuk A.A. *Integrirrovanny`j podxod pri obuchenii programmirovaniyu v srednej shkole// Interaktivnaya nauka*. - 2018. - №2 (24). -S.21-24.

2 Bosova L.L. *Kak uchat programmirovaniyu v XXI veke: otechestvenny`j i zarubezhny`j opy`t obucheniya programmirovaniyu v shkole// Informatika v shkole*. -2018. - №6 (139). – S.3-11

3 Kochetkova O.A., Pudovkina Yu.N. *Obuchenie uchashhixsya programmirovaniyu na yazy`ke Python v ramkax e`lektivnogo kursa po informatike// Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya*. -2019. -№2. –S.59

4 Popkova D.S. *Sovremenny`e podxody` k obucheniyu veb-programmirovaniya uchashhixsya na urokax informatiki v srednej shkole// Pedagogika i sovremennoe obrazovanie: tradicii, opy`t i innovacii. Sbornik statej V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*.-2019. -S.43-45.

5 Makeichik E.G., Chepikova V.V., Tsvetkov V.YU. *Teaching methodology of programming disciplines on the basis of combined form of learning// Engineering education: Challenges and developments. Stat`ya v sbornike trudov konferencii*.-2020.- S.148-151

6 Krivoplyasova E.V., Nefyodova V.Yu., Prilepina A.V. *Metodika obucheniya osnovam programmirovaniya na yazy`ke Python// Informatika v shkole. Stat`ya v zhurnale - nauchnaya stat`ya*. -2020. -№3(156).-S.24-30.

7 Memetova F.S. *Komponenty` metodiki obucheniya vizual`nomu programmirovaniyu// Informacionno-komp`yuterny`e tehnologii v e`konomike, obrazovanii i social`noj sfere. Stat`ya v zhurnale - nauchnaya stat`ya*.- 2021.- №3 (33).S.43-48

8 Mixeev I.V., Kondratov D.V., Vishtak O.V. *metodika raboty` s osnovny`mi funkcional`ny`mi vozmozhnostyami testiruyushhego programmnoho kompleksa dlya obucheniya programmirovaniyu// perspektivny`e informacionny`e tehnologii. Stat`ya v sbornike trudov konferencii*.-2017. S.1081-1085

Ж.К. Нурбекова^{1,2}, А.Н. Баймендинова^{1*}

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қазақстан республикасы білім және ғылым министрлігі Республикалық Білім беру мазмұнын сараптау ғылыми-практикалық орталығы, Нұр Сұлтан қ., Қазақстан

*e-mail: aigerim170793@mail.ru

ОҚЫТУ БАРЫСЫНДА ВИРТУАЛДЫ ОБЪЕКТИЛЕРДІ ҚОЛДАНУҒА ЖҮЙЕЛІ ШОЛУ

Аңдатпа

Білім беру жүйесі үнемі дамып келеді, оқу процесін жақсарту үшін виртуалды ортаны қолдану жүзеге асырылып жатыр. Виртуалды объектілерді пайдалану теориялық материалдың үлкен көлемін тез және қол жетімді түсіндіруге мүмкіндік береді, сонымен қатар оқушыларға тиімді оқуға мүмкіндік береді. Ұсынылып отырған мақалада оқыту барысында виртуалды объектілерді қолдануға байланысты әлемдік ғылыми қорлардағы ғылыми дерек көздеріне жүйелі шолу нәтижелері берілген. Зерттеуде білім беруде виртуалды объектілерді білім беру құралы ғана емес, сонымен қатар оқу объектісі түрінде қолданулар қарастырылып, зерттеу нәтижелеріне сандық және сипаттамалық талдаулар жасалынды. Орта білім беруде виртуалды оқу объектілерін пайдалану мен оларды білім беруде қолдану аспектілеріне талдауға жасалынды. Нәтижесінде виртуалды шынайылыққа негізделген объектілер оқу процесінде қолдану тиімділігін және оқушыны оқуға ынтасын арттыратындығы анықталды. Сонымен қатар, виртуалды объектілерді оқу процессінде қолдануда ескерілуі қажет дидактикалық қағидалар берілді.

Түйін сөздер: виртуалды оқу объектісі, виртуалды оқыту ортасы, сандық білім беру ресурстары.

Аннотация

Ж.К. Нурбекова^{1,2}, А.Н. Баймендинова¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

²Республиканский научно-практический центр анализа содержания образования, г. Нур Сұлтан, Казахстан,

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Система образования постоянно развивается, осуществляется использование виртуальной среды для улучшения учебного процесса. Использование виртуальных объектов позволяет быстро и доступно объяснить большой объем теоретического материала, а также позволяет учащимся эффективно учиться. В статье представлены результаты систематического обзора научных источников в мировых научных ресурсах, связанных с использованием виртуальных объектов в обучении. В исследовании рассматривается использование виртуальных объектов в образовании не только как образовательного средства, но и как объекта обучения, а также проводится количественный и описательный анализ результатов исследования. Проводятся анализ использования виртуальных объектов обучения в среднем образовании и аспекты их применения в образовании. В результате было установлено, что объекты на основе виртуальной реальности повышают эффективность их использования в процессе обучения и мотивацию учащихся к обучению. Также приведены дидактические принципы, которые следует учитывать при использовании виртуальных объектов в процессе обучения.

Ключевые слова: виртуальный учебный объект, виртуальная среда обучения, цифровые образовательные ресурсы.

Abstract

A SYSTEMATIC REVIEW OF THE APPLICATION OF VIRTUAL OBJECTS IN LEARNING

Nurbekova Zh.K.^{1,2}, Baymendinova A.N.¹

¹ Kazakh national pedagogical university named after Abai, Almaty, Kazakhstan

² Republican Scientific and Practical Center for Educational Content Expertise MES RK, Nur-Sultan, Kazakhstan

The education system is constantly evolving, using a virtual environment to improve the educational process. The use of virtual objects allows you to quickly and easily explain a large amount of theoretical material, and also allows students to learn effectively. Researchers have studied the benefits of a virtual environment and applications in various fields. Great interest of researchers was aroused by the fact that the virtual environment has great opportunities when using it in education. This article presents the results of a systematic review of scientific sources in the world scientific

resources related to the use of virtual objects in education. The study examines the use of virtual objects in education not only as an educational tool, but also as an object of learning, and also conducts a quantitative and descriptive analysis of the results of the study. An analysis is made of the use of virtual learning objects in secondary education and aspects of their application in education. As a result, it was found that objects based on virtual reality increase the efficiency of their use in the learning process and the motivation of students to learn. Didactic principles that should be considered when using virtual objects in the learning process are also given.

Keywords: virtual learning object, virtual learning environment, digital educational resources.

Кіріспе

Оқыту әдістерін жетілдіру және білім беруге ақпараттық технологияларды енгізу бүгінгі таңда басым міндеттер болып табылады. Білім беру жүйесін жаңғырту және ғылымды дәріптеу мақсатында соңғы жылдары оқытуда виртуалды және толықтырылған шынайылық технологиялары белсенді қолданылуда. Виртуалды ортаның үлкен мүмкіндікке ие болуы, оны білім беруде қолдануы бойынша зерттеулер жүргізіліп олардың артықшылықтары мен қосымшалары зерттелуде. Алайда, виртуалды ортаны білім беруді жақсарту мақсатында қолданып жатқанымен, оған әлі де көп күш жұмсауы қажет. Біздің зерттеуіміз түрлі электронды кітапханаларда жарияланған қолжетімді мақалаларға жүйелі шолу жасау болып табылды. Жүйелі шолу жүргізу мақсатында Web of Science және Scopus мәліметтер базасына енген рецензияланған журналдар мен конференцияларда жарияланған мақалалар кілттік сөздер мен тіркестер арқылы іріктеу нәтижесінде 65 мақала зерттеу негізін құрады. Зерттеуде "Виртуалды оқыту ортасы" ұғымы бойынша 41 (63%) мақала, ал "виртуалды оқыту объектісі" ұғымы бойынша 24 (37 %) мақала қарастырылды. Біздің жүйелік шолуымыз екі негізгі сұрақ бойынша жүргізілді.

Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың (АКТ) дамуы оқу мен оқыту процесін инновацияландыруға әкелді. Білім беру үрдісіне жаңа технологияларды интеграциялау мұғалімдерге интерактивті мультимедиялық ресурстардың үйлесімі негізінде жаңа оқу материалдарын жасауға немесе қайта жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, цифрлық оқытуға АКТ-ны кіріктіру инновациялық білім берудегі кедергілерді едәуір төмендетіп, дәстүрлі оқыту модельдеріндегі уақытша және кеңістіктік шектеулерді жеңуге көмектесті, осылайша оқушыларды пассивті білім алудан белсенді оқыту тәсілдеріне ауыстырды.

Білімге технологиялық инновацияларды енгізу нақтылық және оқыту жағдайларына қойылатын талап болып табылады. Алайда, бұл талаптар педагогикалық ойлар мен тиісті оқу материалдарын жобалап, әзірлеуден басталу керек. АКТ арқылы жасалынған оқу материалдарына келетін болсақ, олар виртуалды оқу объектілері және виртуалды оқу орталарына сәйкес ерекшеленеді. Олар бүгінгі оқу үрдісі үшін әлеуетті көмекші құралдар ретінде кеңінен қарастырыла бастаған.

Виртуалды оқу объектілері әр түрлі контексте қолдануға болатын цифрлық ресурстардың жиынтығы ретінде анықталады, оның білім беру мақсаты бар және кем дегенде үш ішкі компоненттен тұрады: мазмұн, оқу әрекеті және контекстуализация элементтері (Tovar, 2014). Сонымен қатар, оқу объектісі сақтауды, сәйкестендіруді және қалпына келтіруді жеңілдету үшін сыртқы ақпараттық құрылымға (метадеректерге) ие болуы керек. Екінші жағынан, виртуалды оқу объектілері АКТ құралдарының оқу мақсаттарына сәйкес құрылады, бұл мұғалімдер мен оқушылардың білімге деген көзқарасы мен білім беру процесіне қатысатын агенттердің өзара әрекеттесуіне қатысты оқыту және оқыту әдістемелеріндегі өзгерістерге әкеледі (Sabrega, 2014). Бұл нақты объект емес, күрделі және жан-жақты технологиялық құрылым. Яғни білім беру технологиялары, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар тәжірибесінен туындайтын педагогикалық және оқу элементтерін біріктіретін үлкен технологиялық құрылым.

Виртуалды оқу объектілері оқыту процесінің түрлі деңгейлерінде қолданылып келеді. Олар 1994 жылы білім саласында ақпараттық ресурстарды қайта пайдалану және басқалармен бөлісу қажеттілігіне байланысты пайда болды. Виртуалды оқу объектілері білім беру ресурстарының қайта пайдаланылуын, қол жетімділігін, ұзақ мерзімділігін және үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін қолданылатын шешімдердің бірі. Бұл объектілер оқушыны оқу процесіне үнемі бағыттайды, оның өз бетімен білім алуына ынталандырады және мұғалімнің оқыту процесіндегі жетекші және бағалаушы ретіндегі рөлін арттырады [1,2].

Оқытудың ең жақсы әдістерінің бірі-визуализациялауды қолдану [3,4]. Визуализацияны қолдану барысында оқушылардың тақырыпқа деген қызығушылығы оянып, әрі ондағы негізгі ұғымдарды түсінулері жеңілдейді. Бұл артықшылық оқу процесіндегі оқушылардың зейіні, сенімділігі және негізгі білімінің болмауы сияқты әртүрлі ерекше білім беру қажеттіліктерімен байланысты

қиындықтарды шеше алады. Шынайы объектілердің көшірмесін жасайтын виртуалды оқу объектілері өте бай және оны білім беруде қолдану маңызды рөл атқарады. Виртуалды объектілерді пайдалану мұғалімдерге теориялық материалдың үлкен көлемін тез және қол жетімді түсіндіруге мүмкіндік береді, ал оқушыларға тиімді оқуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге олардың шығармашылық ойлауларын дамытады және оқуға деген ынтаны арттырады [5-7].

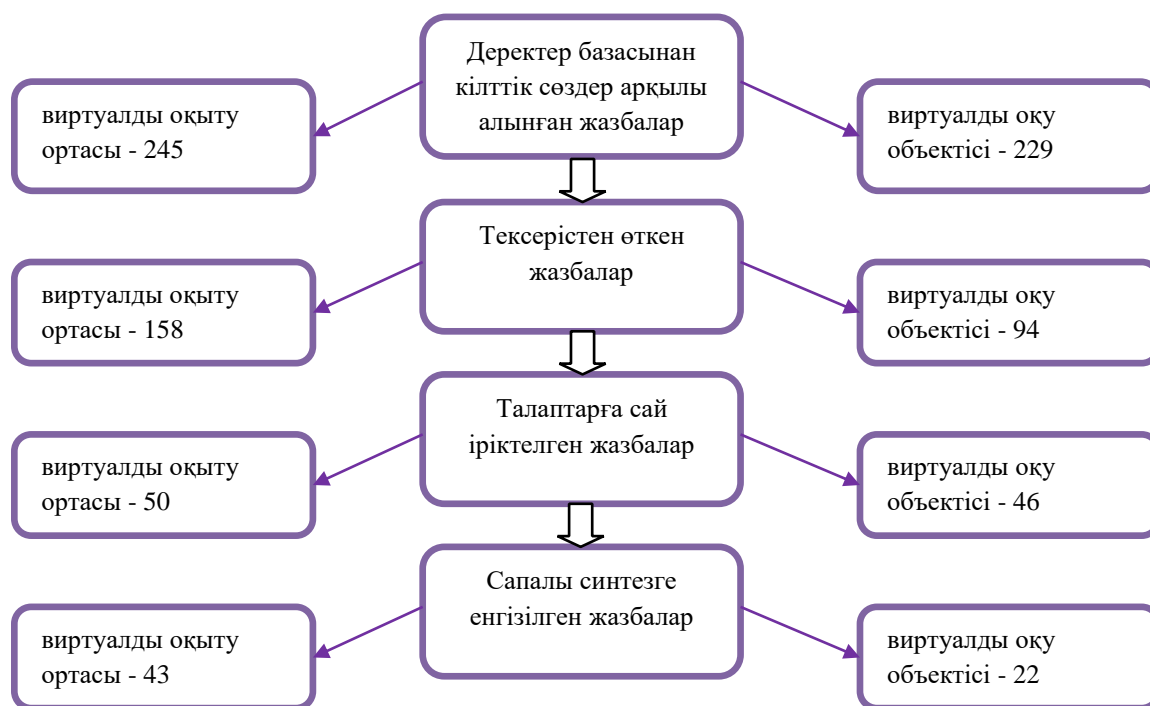
Зерттеудің әдіснамасы

Зерттеу барысында Web of Science, Google scholar және Scopus мәліметтер базаларында жарияланған қолжетімді мақалаларға жүйелі шолу жасалды. Жүйелі шолу дегеніміз - бұл белгілі бір зерттеу тақырыбы бойынша бастапқы әдебиеттерді жинау, сыни бағалау және талдау әдістемесі. Жүйелі шолу барысында, біріншіден, зерттеу бойынша келесідей сұрақтар алынды:

-виртуалды объектілерін білім беруде қолданудың негізгі артықшылықтары неде?

-виртуалды ортаның оқу процесіне әсері қандай?

Осы зерттеу сұрақтарына байланысты кілттік сөздер арқылы электронды мәліметтер базаларынан мақалалар мен зерттеу жұмыстары жиналды. Екіншіден, деректер тексерістен өтіп, қайталанған және зерттеу саласы өзгеше зерттеулер алынып тасталынды. Үшіншіден, жиналған деректер критерийлер бойынша іріктеліп, қолжетімді мақалалар жүктелінді. Зерттеудегі негізгі критерий - білім беру мен оқытуда кеңейтілген шынайылықты, виртуалды шынайылықты, объектілерді қолдануға қатысты конференция материалдары, журналдар мен әдебиеттерге шолулар. Бұл процесте қолданылатын басқа критерийлері-қайталанатын мақалалар, толық мәтінді мақалалар, қолжетімділігі. Барлық критерийлер негізгі зерттеу мақалаларын таңдауға көмектесті. Төртіншіден, зерттеу сұрақтарының негізінде іріктелген деректерден жауаптар синтезделіп, нәтижесі қорытындыланды. Осы зерттеу жұмысымыздағы мәліметтерді жинау процесі 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1. Библиометриялық және мазмұнды талдау жүргізу үшін қолданылған процесс

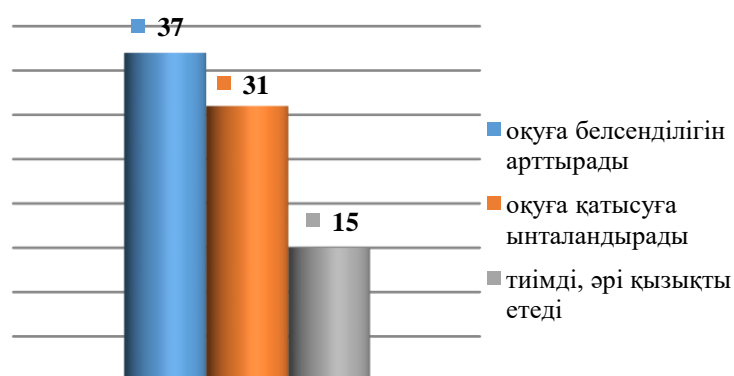
Зерттеу нәтижелері

Бұл бөлімде WOS, Google scholar және Scopus мәліметтер базасынан алынған мәліметтер негізінде библиометриялық талдау нәтижелері берілген. Виртуалды оқу объектілерін қолданудың негізгі аспектілері қарастырылды. Жалпы түсініктен бастап, олардың білім беруде артықшыларына қанша зерттеулер жүргізілгендігі анықталды.

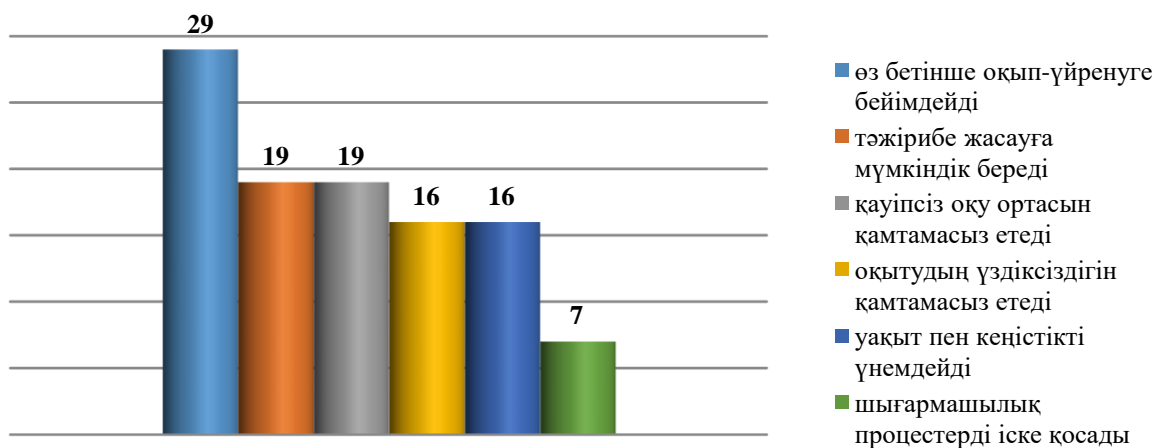
Зерттеулерге іріктеу жүргізілді және жоғарыда айтылған зерттеу сұрақтарына жауап беру үшін мақалалардағы деректер шығарылды. Деректерді шығарудың мақсаты- зерттеу мәселелеріне негізделген әдебиеттерге жүйелі шолу жасау үшін нәтиже алу.

1. Виртуалды объектілерін білім беруде қолданудың негізгі артықшылықтары неде?

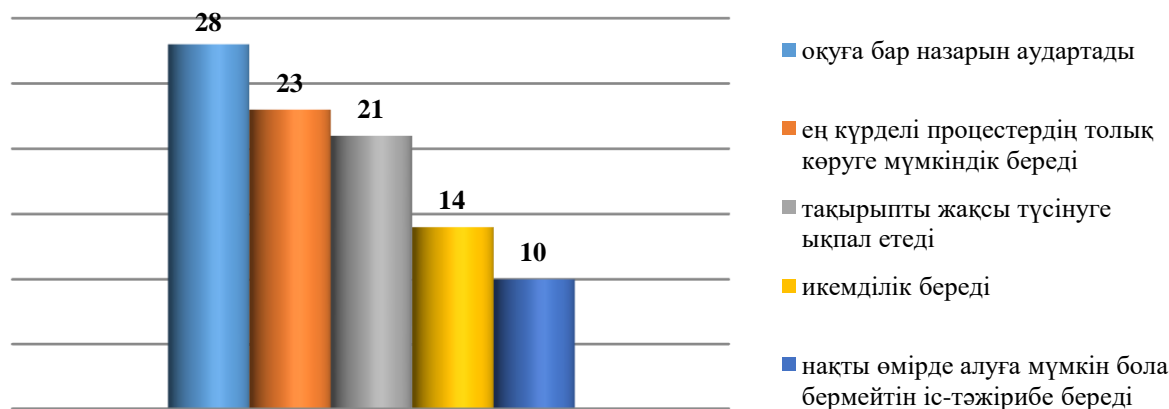
Виртуалды оқу объектілері педагогикалық тәжірибелер мен стратегиялар аясында қайта пайдалануға болатын шектеулі цифрлық ресурс ретінде жоғары бағаланды. Виртуалды оқу объектілері- бұл қайта пайдалану, бейімделгіштік, нақтылық, модульділік, интерактивтілік, тұжырымдамалық, қол жетімділік, төзімділік және ұзақ мерзімділікпен сипатталатын құралдар [8-10]. Технологиялық базасы бар оқу-танымдық процесте пайдаланылған жағдайда оған әртүрлі дидактикалық материалдар (суреттер, бейнелер, ойындар, сайттар және т.б.) кіреді. Ақпарат көздерінен бірнеше деректерді жинағаннан кейін виртуалды объектілерді қолдану тиімді екендігі дәлелденді. Зерттеулерде оқушыларға виртуалды оқу объектілерін қолданудың тиімділігі туралы сауалнама жүргізген және көпшілік тәжірибеге қатысушылар олардың шығармашылықты арттырып, тіл үйренуді, механикалық дағдыларды және кеңістіктік қабілеттерді үйретуді жақсарта алады деп мәлімдеген. Оқыту тұжырымдамаларында виртуалды объектілер оқушыларға бағытталған оқу деңгейін арттыруда да өте тиімді. Білім берудегі виртуалды объектілерге арналған заманауи зерттеулерге талдау олардың оқушы мотивациясына қатысты (Сурет 2), оқыту ортасына әсері (Сурет 3), контентін түсінікті, қолжетімді жасау бойынша аспектілері диаграммада көрсетілген (Сурет 4).



Сурет 2. Білім беруде виртуалды оқу объектілерін қолданудың оқушыға мотивацияға қатысты аспектілері



Сурет 3. Білім беруде виртуалды оқу объектілерін қолданудың оқыту ортасына әсері бойынша аспектілері



Сурет 4. Білім беруде виртуалды оқу объектілерін қолданудың оқу контентін түсінікті, қолжетімді жасау бойынша аспектілері

2. Виртуалды ортаның оқу процесіне әсері қандай?

Мектептегі инновациялық технологиялар бірінші кезекте оқу процесіне әсер етеді, өйткені тұлғаның дамуы оқу бағдарламасын әзірлеудің тиімділігіне, мұғалімнің кәсібилігіне, дәлелденген оқыту әдістерінің жиынтығына және жеке психологиялық факторларға байланысты. Осыған байланысты білім алушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыратын және біріктірілген құралдарды, идеяларды, оқытуды ұйымдастыру тәсілдерін және осы процеске қатысушыларды қамтитын виртуалды оқу орталарын іздеу қажеттілігі туындайды.

Виртуалды орта оқытудың конструктивтік тәсілін қолдануға мүмкіндік береді. Оқушылар виртуалды объектілермен және басқа оқушылармен еркін қарым-қатынас жасай алады. Оқытушылар оқушыларға қызықты іс-шаралар ұсынғысы келсе, өздерінің оқу іс-әрекеттерін өте мұқият жоспарлауы керек және өзара жұмысқа ерекше назар аударуы керек. Сонымен қатар, оқушылардың виртуалды орта мазмұнымен өзара әрекеттесуі және сыныптағы оқушылардың өзара әрекеттесуі гибриді әдістерді қолдану кезінде оқушылардың белсенділігіне қатты әсер ететін сияқты [11,12].

Виртуалды оқыту іс жүзінде оқушыларға қауіпті зертханалық жұмыстарды қауіпсіз жүргізуге және ақпаратты оңай жеткізуге көмектесетін оқыту әдісін дамытады. Сонымен қатар, ол ақпаратты қызықты түрде алуды және зерттеуді қолдайды. Виртуалды орта сабаққа қатыспаған оқушыларға зертханалық жұмыстарды оңай жүргізуге көмектеседі [13,14].

Талқылау

Жоғарыдағы зерттеудің негізгі нәтижесі виртуалды объектілер оқушыларға жақсы білім алуға көмектесетін оқу құралы бола алатындығын көрсетеді. Алынған зерттеулердің 57% оқушылардың белсенділігін арттырады және 48%-да оқуға қатысуға ынталандырады деген тұжырымға келген. Бұдан біз виртуалды объектілердің оқушы мотивациясына жоғары әсер ететіндігін байқаймыз. Жоғарыда айтылғандай, оқушылар негізінен тәжірибелер барысында виртуалды объектілерді қолдануға оң пікірлер білдірді, сонымен қатар оқу жүйесінде қолдану оқушылардың үлгерімін жақсарғаны дәлелденген.

Білім беруде виртуалды оқу объектілерін қолданудың оқу контентін түсінікті, қолжетімді жасау аспектілері бойынша білім беруде қолдану ең бірінші оқушының оқуға бар назарын аудартады. Дәстүрлі оқытумен салыстырғанда әлде қайда тиімді болып келеді. Сонымен қатар ауызша түсіндірілуі қиын күрделі процестерді толық көрсетуге мүмкіндік береді. Яғни виртуалды объектілер мен виртуалды зертханалар арқылы оқушыға айқын, нақты түрде көзге көрінбейтін кіші немесе өте үлкен көлемдегі процестерді көруіне ықпал ете алады. Сол арқылы оқушы тақырыпты терең, әрі толық меңгереді. Виртуалды объектілер кез-келген пәнді тереңірек оқуға жол ашады және шынайы оқыту парадигмасын кеңейте алады. Оқушыларды пассивті білім алудан белсенді оқыту тәсілдеріне ауыстыру күнделікті оқу процесіне қарқынды ендірілуде. Бұл белсенді оқыту тәсілдерін оқыту процесінде қолдану өз ретінде қалыптасатын білімнің 50-90% пайызға арттыратыны өткен ғасырдың 60-70-ші жылдары “Оқыту конусы” негізінде дәлелденгені белгілі (Сурет 5) [15].

| Оқыту конусы | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Екі аптадан кейін біздің жадымызда қалатыны | | Оқу процесіне қатысу дәрежесі |
| Айтқан және істеген ақпараттың 90 пайызы | Нақты жұмыс | Активті |
| | Нақты тәжірибені имитациялау | |
| | Ролдік ойындар | |
| Айтқан ақпараттың 70 пайызы | Әңгімелесулер өткізу | |
| | Пікірталасқа қатысу | |
| естіген және көрген ақпараттың 50 пайызы | Нақты процессті бақылау | |
| | Көрсету процесін бақылау | |
| | Кинофильмдер көру | |
| көрген ақпараттың 30 пайызы | Иллюстрация, суреттерді қарау | |
| естіген ақпараттың 20 пайызы | Қойылымдарды тыңдау | |
| оқыған ақпараттың 10 пайызы | Оқу | |

Сурет 5. Оқыту конусы

Қазіргі таңда технология жылдам дамып келе жатыр. Жаңа ғасыр оқушылары компьютерлерді, интернет-ресурстарды және мобильді құрылғыларды пайдалану олардың күнделікті өмірінің бір бөлігі болып табылатын медиа ортада өмір сүреді. Александр Кулешовтың айтуынша, олар "цифрлық технологиямен туылған" және бұл фактіні елемеге болмайды. Сондықтан оқу процесінде ақпараттық коммуникациялық технологияларды қолдану белгілі бір дәрежеде білім берудің дидактикалық әлеуетін жүзеге асыра алады. Виртуалды объектілерді қолдануға арналған арзан әрі оңай жұмыс істейтін виртуалды және кеңейтілген шынайылық құрылғылары шығарылып жатыр. Осыны негізге ала отырып, оларды оқыту процесінде қолдану үлкен өзектілікке ие болатынын айтуға болады.

Білім беру эволюциясындағы келесі қадам виртуалды шынайылық технологиясын қолдана отырып оқыту болып табылады. Виртуалды шынайылық мұғалімдерге оқушылармен қызықты тәжірибе жасауға, оқу процесін жақсартуға мүмкіндік береді. Бабич [16] виртуалды шынайылықты оқытуда қолданудың бірнеше жолын ұсынады:

- Визуалды оқыту - виртуалды шынайылық визуалды оқушылар тобы үшін пайдалы. Мысалы, 3D ортасында механизмдерді ұсыну, мұндай технологияның қалай жұмыс істейтінін түсіну үшін өте пайдалы.

- Қатысу сезімі - оқулықтарда осы тақырып туралы оқудың орнына оқушылар виртуалды шынайылық гарнитурасын киіп, іс жүзінде қажетті жерде болып, сол ортаны сезіне алады.

- Виртуалды зертхана - ғылыми зертханалар оқушыларға ғылыми құбылыстарды зерттеуге және практикаға сүйене отырып, айналамыздағы әлемнің қалай құрылғанын көруге мүмкіндік береді. Алайда, олар қымбат және оларды масштабтау мүмкін емес. Физикалық зертханаға барудың орнына виртуалды зертхананы модельдеуге болады. Оқушылар виртуалды ортада белсенді жұмыс тәжірибесін алады және нақты тәжірибеге қатысты қызықты жаттығуларға қатысады. Виртуалды орта білім алу үшін жақсы мүмкіндіктер ұсынады.

- Тәжірибе арқылы оқыту-сыныптан тыс оқытуда оқушыларға мәліметтерді оқудан гөрі практикалық дағдыларды игеруге көмектеседі. Виртуалды шынайылық ортасы оқушыларға өздері үшін бір нәрсені үйренуге ынталандырады және тәжірибе жасау арқылы үйренуге мүмкіндік береді.

- Эмоционалды әсер - оқушылар эмоционалды әсерлері арқылы әртүрлі бөлшектерді еске түсіріп, виртуалды шынайылық ортасына деген қызығушылығын арттыра алады [16].

Теориялық негіздер мұғалімдердің педагогикалық тәжірибесін қолдайтын, инновациялық әдістер арқылы виртуалды оқыту объектілерін талдау, жобалау, әзірлеу, құру және бағалау үшін сілтемелер ұсынады. Алынған нәтижелер виртуалды оқу объектілерінің оқу процесіне дидактикалық, технологиялық әсері жайлы мазмұнды ақпарат алуға мүмкіндік берді. Бұл оқушылардың дағдыларын, ептілігін және құзыреттілігін дамытуға арналған құралдарды шығаруға және құруға ықпал етеді. Уақыт пен кеңістік шектеусіз білімге қол жеткізу үшін білім беру процестерінде АКТ арқылы оқытуды қолдану мақсатында виртуалды оқу объектілері оқушыларға да, мұғалімге де оқу бағдарламасының белгілі бір саласында маңызды ақпаратты немесе әдістерді енгізе алады.

Сонымен оқу процесінде виртуалды объектілерді қолдануда ескерілуі қажет келесі негізгі дидактикалық қағидаларды ұсынамыз.

Виртуалды білім беру объектілерін білім беруде пайдаланудың негізгі принципі педагогикалық заңдылықтар негізінде виртуалды білім беру объектілерін пайдаланудың функционалдық тиімділігін талап ететін дидактикалық сәйкестік принципі болып табылады.

Бұл дидактиканың келесі принциптері сақталған жағдайда мүмкін болады:

– қолжетімділік принципі: виртуалды оқыту объектілерін пайдаланатын білім беру мазмұны оқудың оңтайлы уақытында игерілген болуы керек

– ғылыми сипатқа ие болу принципі: виртуалды білім беру объектілері жаңа технологияларға сәйкес құрылуы керек, зерттеуге арналған барлық объектілер мен процестер ғылыми білімнің соңғы жетістіктеріне негізделген виртуалды модельдер арқылы ұсынылуы керек.

– көрнекілік принципі: виртуалды білім беру объектілері шынайы бейнелерге немесе процестерге барынша жақын және зерттелетін объект туралы мәліметтердің ең аз абстракциясымен құрылуы керек;

– оқу материалының бірізділігі принципі: виртуалды білім беру жобаларын енгізу кезінде білім мазмұнының сабақтастығы, жоспарға сәйкес болуы және оқыту әдісінің үйлесімділігін қамтамасыз етіу қажет;

– оқу материалының жүйелілік принципі: білім контент мазмұны оқытылатын пәндік саланың ұғымдар жүйесіне сәйкес виртуалды білім беру объектісінде берілуі керек. Жаңа білім, білік пен дағдылар виртуалды білім беру объектілері арқылы жүйелі және логикаға негізделген түрде қалыптасуы керек.

– белсенділік принципі: әлеуметтік немесе тұлғалық мәнді білім беру жағдайлары арқылы студентке бағытталған мазмұнды қалыптастыру талап етіледі, мотивацияны және жаңа нәрсені үйренуге құштарлықты арттыру үшін геймификацияны қосуға болады.

– оқытудағы дербестік принципі: оқу материалын виртуалды оқыту объектілерін пайдалана отырып, өз бетінше әрекетті ұйымдастыру арқылы жақсы меңгеруге болады.

Қорытынды

Оқыту әдістерін жетілдіру және білім беруге ақпараттық технологияларды енгізу бүгінгі таңда басым міндеттер болып табылады. Бұл зерттеу білім беруде виртуалды ортаны қолдану туралы тереңірек түсінік алуға мүмкіндік берді. Виртуалды білім беру объектілерін зерттеу, сондай-ақ білім беру мақсатында зертханаларды қолдануды зерттеу олардың құндылығын көрсетті. Виртуалды объектілерді қолданудың көптеген себептері және артықшылықтары бар және оны мұғалім өз пәнінде қай кезеңде қолдану керектігін анықтай алады. Виртуалды және кеңейтілген шынайылық технологиялары виртуалды зертханалар мен объектілерді жасаудан бастап физика, биология, химия, астрономия және т.б. салалардағы зерттеулерге дейін ғылымның әртүрлі салаларымен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, виртуалды оқу ортасы жалпы педагогикалық контексте бірнеше виртуалды оқу объектілерінің түрлерін қамтитынын атап өткен жөн. Осы объектілерді пайдалану мұғалімге теориялық материалдың үлкен көлемін тез және оңай түсіндіруге мүмкіндік береді, ал оқушыларға тиімді білім алуын қамтамасыз етеді, шығармашылық ойлауын дамытады және оқуға деген ынтасын арттырады. Сонымен қатар, виртуалды оқу объектілері оқытуда қолдану сәйкес дидактикалық принциптерді, яғни дидактикалық сәйкестік принципі, қолжетімділік принципі, ғылыми сипаттағы принципі, көрнекілік принципі, оқу материалының жүйелілік принципі, оқу материалының жүйелілік принципі, белсенділік принципі, оқытудағы дербестік принциптерін ұстануды қажет етеді. Осы принциптердің орындалуын виртуалды оқу объектілерін жасауда және оны қолданып әр түрлі пәндік аумақтың ерекшелігін ескеріп оқытуда қаматамыз ету зерттеу тақырыбының алдағы уақытта көкейкесті педагогикалық мәселе екенін және пәнаралық үлкен зерттеу перспективасын көрсетеді.

Бұл зерттеу Республикалық Білім беру мазмұнын сараптау ғылыми-практикалық орталығы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің БІ. Алтынсарин атындағы Ұлттық білім академиясымен бірлесіп OR 11465474 «Білім беру жүйесі мен ғылымды жаңғыртудың ғылыми негіздері» ғылыми бағдарламасы шеңберінде жүргізілді.

References:

- 1 Arango J., Gaviria D., Valencia A. *Differential Calculus Teaching through Virtual Learning Objects in the Field of Management Sciences*// *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015.
- 2 Goncharenko N.; Synenko S. *The use of visual methods in education at various levels*// *ScienceRise: Pedagogical Education*. 20016.
- 3 Mayrose J. *Active Learning Through The Use Of Virtual Environments*// *American Journal of Engineering Education*. 2012.
- 4 Fernandes A.; Gonçalves R.Q.; Thiry M.; Batista A.F. *Using technologies as virtual environments for computer teaching: A systematic review*// *Informatics in Education*. 2020.
- 5 Martín-Gutiérrez J., Mora C.E.; Añorbe-Díaz B.; González-Marrero A. *Virtual technologies trends in education*// *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*. 2017.
- 6 Salvador P., Bezerril M., Mariz C., Fernandes M., Martins J., Santos V. *Virtual learning object and environment: a concept analysis*// *Revista brasileira de enfermagem*. 2017.
- 7 Pattanasith S, Rampai N, Kanperm J. *The development model of learning though virtual learning environments for graduated students, department of educational technology, faculty of education*. 2015.
- 8 Agbo, F.J.; Sanusi, I.T.; Oyelere, S.S.; Suhonen, J. *Application of Virtual Reality in Computer Science Education: A Systemic Review Based on Bibliometric and Content Analysis Methods*// *Educ. Sci.* 2021, 11, 142.
- 9 Dickey M.D. *Brave New (Interactive) Worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3D virtual worlds as interactive learning environments*// *Interactive Learning Environments*. pp. 121 – 137. 2005.
- 10 Jiang L. *Virtual Reality Action Interactive Teaching Artificial Intelligence Education System*// *Volume*. 2022.
- 11 Osipova N.; Kravtsov H.; Hniedkova O.; Lishchuk T.; Davidenko K. *Technologies of Virtual and Augmented Reality for High Education and Secondary School*.2020.
- 12 *Virtual learning object Fonseca LMM, Medeiros MJ, Goés FSN, Zamberlan-Amorim NE, Scochi CGS. Evaluation of the digital learning object taking care of the sensory environment in neonatal units: noise, light and handling*// *Procedia Soc Behav Sci*. 2012; 46:509-14.).
- 13 Jen Chen C. *Theoretical Bases for Using Virtual Reality in Education*// *Themes in science and technology education*. pages 71-90.
- 14 Yayich R., Starichenko B. *Design of Education Methods in a Virtual Environment*// *Journal of Education and Training Studies*. 2017.
- 15 Kiyosaki, R. *The conspiracy of the rich / translated from English. S.E. Borich. -3-ed. -Minsk: Potpourri, 2013.- P. 294-296.*
- 16 Babich N., *How Virtual Reality Will Change How We Learn and How We Teach*, 2018, <https://theblog.adobe.com/virtual-reality-willchange-learn-teach/>.

Ж.К. Нұрбекова¹, А.Е. Сағымбаева^{1*}, К.М. Байғушева², Д.С. Найманова³, Д.М. Досымбек⁴

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

²"Digital Experts Group" ЖСШ, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

³С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан

⁴"ҰЗМИ" РМК патенттік ақпарат және сараптама кезеңдерін автоматтандыру басқармасы,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан
*e-mail: aiya_c@mail.ru

САРАПТАУ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ПЛАТФОРМАСЫНЫҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа

Қазіргі кезде оқулықтарды сараптау электрондық платформасын жасау өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Бүгінгі уақытта мектеп және жоғарғы оқу орындарына арналған оқулықтарды дайындау және оны сараптау критерийлерін басшылыққа ала отырып, сараптамадан өткізу біршама күрделі үдеріс болып табылады. Мақаланың мақсаты оқулықтарды сараптаудың электрондық платформасының тұжырымдамадық негіздерін жасау болып табылады. Зерттеуде алдыға қойылған мәселе бойынша сауалнама әдістері қолданды. Сауалнаманың мақсаты сараптама үдерісін ұжымдық күшейту және жетілдіру үшін білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын сараптау тәжірибесі мен білімі туралы сарапшылардың пікірлерін жинау болып табылады.

Зерттеу нәтижелері. Оқулық басылымдары мен үлгілік оқу жоспарларының, бағдарламаларының сараптамасын ұйымдастыру және жүргізу кезеңдері келтіріле отырып, білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын сараптаудың электрондық платформасының (ЕРЕС) мақсаты мен мазмұны анықталып, ЕРЕС электрондық платформасының архитектурасы сыртқы контур (функционалдық Web-портал), ішкі контур (BI-аналитика, зияткерлік блок, блокчейн модуль, үдерістерді мониторингтеу және пайдаланушының іс-қимылын логиялау жүйесі, сұраныстарды өңдеу жүйесі), деректермен алмасу жүйесін, ДҚБЖ-ны қамтитыны анықталды. Электрондық платформаның техникалық ерекшеліктері ескере отырып, электрондық платформаны жасаудың кезеңдері келтірілді.

Түйін сөздер: сараптау электрондық платформасы, электрондық платформаның архитектурасы, интерактивті дауыс беру, жасанды интеллект алгоритмдері, мультикритериалдық бағалау.

Аннотация

Ж.К. Нурбекова¹, А.Е. Сағымбаева¹, К.М. Байғушева², Д.С. Найманова³, Д.М. Досымбек⁴

¹Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

²ТОО "Digital Experts Group", г. Нур-Султан, Казахстан

³Павлодарский государственный университет им. С. Торайғырова, г. Павлодар, Казахстан

⁴Управления патентной информации и автоматизации этапов экспертизы РГП «НИИС»,
г. Нур-Султан, Казахстан

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭКСПЕРТИЗЫ

В настоящее время одной из актуальных проблем является создание электронной платформы экспертизы учебников. В настоящее время подготовка учебников для школ и вузов и их экспертиза, руководствуясь критериями экспертизы, является достаточно сложным процессом. Целью статьи является разработка концептуальных основ электронной платформы экспертизы учебников. В исследовании использованы методы анкетирования по поставленной проблеме. Целью анкетирования является сбор мнений экспертов об опыте и знаниях экспертизы содержания образования и образовательных ресурсов для коллективного усиления и совершенствования процесса экспертизы.

Результаты исследования. С приведением этапов организации и проведения экспертизы учебных изданий и типовых учебных планов, программ определены цель и содержание электронной платформы экспертизы образовательного контента и образовательных ресурсов (ЕРЕС), архитектура электронной платформы ЕРЕС-внешний контур (функциональный Web-портал), внутренний контур (BI-аналитика, интеллектуальный блок, блокчейн модуль, системы мониторинга процессов и логирования действий пользователя, системы обработки запросов), системы обмена данными, СУБД. Приведены этапы создания электронной платформы с учетом технических особенностей электронной платформы.

Ключевые слова: экспертиза электронной платформы, архитектура электронной платформы, интерактивное голосование, алгоритмы искусственного интеллекта, мультикритериальная оценка.

Abstract

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF THE ELECTRONIC PLATFORM OF EXPERTISE

Nurbekova Zh.K.¹, Sagimbaeva A.E.¹, Baigusheva K.M.², Naimanova D.S.³, Dosymbek D.M.⁴

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² LLP "Digital Experts Group", Nur-Sultan, Kazakhstan

³ S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan

⁴ Management of patent information and automation of examination stages of RSE "NIIS", Nur-Sultan, Kazakhstan

Currently, one of the urgent problems is the creation of an electronic platform for the examination of textbooks. Currently, the preparation of textbooks for schools and universities and their examination, guided by the criteria of examination, is a rather complex process. The purpose of the article is to develop the conceptual foundations of the electronic platform for the examination of textbooks. The research uses survey methods on the problem posed. The purpose of the questionnaire is to collect expert opinions on the experience and knowledge of the examination of the content of education and educational resources for the collective strengthening and improvement of the examination process. The results of the study. With the introduction of the stages of organizing and conducting the examination of educational publications and standard curricula, programs, the purpose and content of the electronic platform for the examination of educational content and educational resources (EPEC), the architecture of the EPEC electronic platform- the external contour (functional Web portal), the internal contour (BI-analytics, intelligent block, Blockchain module, monitoring systems processes and logging of user actions, query processing systems), data exchange systems, DBMS. The stages of creating an electronic platform are given, taking into account the technical features of the electronic platform.

Keywords: electronic platform expertise, electronic platform architecture, interactive voting, artificial intelligence algorithms, multicriteria evaluation

Кіріспе

Қазіргі кезде елімізде оқулықтардың сапасына көп көңіл бөлінуде. Оқулықтарды сараптаудың критерийлері жасалып, бірнеше рет сараптау кезеңдерінен өткізілуде. Әр түрлі елдерде оқулықтарды мақұлдаудың әртүрлі жүйелері, төрт негізгі: а) либералды немесе араласпау, ә) орталықтандырылған, б) аккредиттеу және в) кәсіби бағалау модельдері бар [1]. АҚШ, Канада, Малайзия, Филиппин және т.б. бірқатар елдердің оқулықтарына мемлекеттік және жеке сараптама жүргізу рәсімдерін талдай отырып, Гарвин ұсынған сегіз сыни өлшемге сәйкес [2], Mahmood оқулықтың өз еліне (Пәкістан) қатысты сапа көрсеткіштеріне сәйкестігінің 11 өлшемін әзірлеген болатын [3]. Сәйкестіктің әрбі шарты үшін төрт деңгейі анықталып, осы деңгейлердің әрқайсысы бағаланатын оқулыққа арналған ұсыныстарды сипаттайды. Жалпы білім беру ұйымдарының жоғары сыныптарына арналған мектеп оқулықтарының сапасын бағалаудың формализацияланған (диагностикаланатын) критерийлерінің жүйесі олардың функционалдық жүктемесін ескере отырып сараланады [4]. Бұл тәсілде, алдыңғы автордан айырмашылығы, деңгейлер бағалау (сараптама) иерархиясын анықтайды.

Кейбір елдердің өз сайттарында тәуелсіз сараптамалық комиссиялар жұмыс істейді, олар оқытудың әртүрлі бағыттары мен нақты пәндер бойынша оқулықтар мен оқу материалдарын бағалау критерийлерінің айдарларын жариялайды: Math Textbook Adoption Evaluation Rubric - ORIGO Education [5], Textbook and instructional Material Evaluation Rubric Form-English Language Arts [6].

ЕРЕС (Electronic platform for expertise of content, бұдан әрі ЕРЕС) сараптама жүргізу және объективті шешімдер қабылдау, сондай-ақ сараптама үдерісін мониторинг жасау мақсатында сарапшыларды цифрлық зияткерлік сервистермен қамтамасыз етуге арналған әзірleme болып табылады. Интерактивті дауыс беру арқылы сараптамалық жүйенің маңыздылығы мен ерекшелігі сараптамалық бағалаудың негізгі векторлары мен компоненттерін бөліп көрсете отырып, нақты пәндер бойынша сараптама үдерісін көп факторлы талдау негізінде бағалаудың көп өлшемділігін жүзеге асыру болып табылады. Сараптаманың алқалық рәсімдері үшін ЕРЕС сараптамалық бағаларды, қорытындыларды және мультикритериалдық бағалау негізінде сараптамалық шешім қабылдау туралы хаттаманы автоматты түрде ала отырып, сарапшылардың интерактивті онлайн дауыс беру блогын қарастырады.

Мұндай платформаны дайындау қажеттілігі қолданыстағы білім беру ресурстарының сапасын бағалау жүйесінде барлық рәсімдер сарапшылардың шектеулі контингентімен "қол режимінде" жүргізілетіндігіне, құпиялылық, сапалы, критериалды бағалау және білім беру ресурстарын, оның ішінде цифрлық іріктеу қағидаттары жеткілікті түрде іске асырылмауына байланысты болады. ЕРЕС электрондық платформасын жасаудың мақсаты жаңа технологиялар арқылы білім беру мазмұнын және білім беру ресурстарын сараптаудың сапасын арттыру болып табылады. ЕРЕС электрондық платформасын дайындау үшін Қазақстандық нормативтік құжаттар негізге алынды [7, 8].

Әдістеме

Білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарының сараптамасы білім беру жүйесінің мақсаттарына қол жеткізу үшін білім беру үдерісінің тиімділігін қамтамасыз етеді.

Орта білім беру ұйымдары үшін оқулықтарды және мектепке дейінгі ұйымдар, орта білім беру ұйымдары үшін оқу-әдістемелік кешендерді сараптау мыналарды қамтиды:

1) орта білім беру ұйымдары үшін оқулықтарды және мектепке дейінгі ұйымдар, орта білім беру ұйымдары үшін оқу-әдістемелік кешендерді сараптауды жоспарлау

2) мектепке дейінгі, бастауыш, негізгі орта және жалпы орта білім беруге арналған оқу басылымдарына авторлар мен авторлар ұжымына сараптамалық қорытынды беру бойынша Мемлекеттік қызмет көрсету тәртібі;

3) пәндік сараптама комиссиясы жұмысының тәртібі мен шарттары.

Электрондық оқу басылымдары үшін электрондық функциялар мен функционалдық-техникалық сипаттамалардың педагогикалық қолданылуын тексеру бойынша қосымша функционалдық-технологиялық сараптама жүргізіледі.

Сараптама жұмыстарының кезеңдері және негізгі ақпараттық ағындар 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Оқулық басылымдары мен үлгілік оқу жоспарларының, бағдарламаларының сараптамасын ұйымдастыру және жүргізу кезеңдері

| Оқулықтар мен ОӘК, оның ішінде электрондық | Үлгілік оқу жоспарлары (ҰОЖ) мен бағдарламаларын сараптау |
|--|---|
| <i>Сараптаманы жоспарлау</i> | |
| <p>1. Оқулықтар мен ОӘК-ні сараптау мен апробациялаудың тақырыптық жоспарын қалыптастыру</p> <p>2. Оқулық басылымдарын кодтау (әзірлеушіні, баспаны және авторды көрсетпей, сарапшылардың басылымдармен жұмыс істеуі үшін оқу басылымдарына сәйкестендіру кодын беру)</p> <p>3. Оқу басылымдарын ғылыми-педагогикалық сараптау үшін сараптамалық топтар құру (әр пән бойынша - 1 ғалым және орта білім беру ұйымының кемінде 2 педагогы немесе тиісінше 1 ғалым және бастауыш сыныптың 1 педагогы, аударма басылымдары үшін қосымша лингвист қосылады),</p> <p>4. Электрондық оқу басылымдарын функционалдық-технологиялық сараптау үшін сараптамалық топтарды қалыптастыру (АКТ саласындағы кемінде 2 маман)</p> <p>5. Пәндік сараптама комиссияларын қалыптастыру</p> <p>6. Сараптамалық топтардың/комиссиялардың мүшелерімен шарттар жасасу</p> | <p>1) ұйымдастырылған оқу қызметтері/оқу пәндері бойынша сараптамалық топтар құру (кемінде 9 адам)</p> <p>2) ғылыми кеңесте үлгілік оқу жоспарлары мен үлгілік оқу бағдарламаларының жобаларын қарау мерзімдерін бекіту</p> <p>3) сарапшылар тобына енгізілген ғалымдар мен педагогтар үшін оқыту курстарын өткізу (72 сағат)</p> <p>4) сараптама топтарының мүшелерімен шарттар жасасу</p> |
| <i>Сараптама кезеңдері</i> | |
| <i>Жаңадан әзірленген басылымдарға сараптама</i> | |
| <p>1) сынақтан өткізу алдындағы ғылыми-педагогикалық сараптама (шешім: "байқаудан өткізуге жол беріледі"; "байқаудан өткізуге жол берілмейді"; "байқаудан өткізгенге дейін пысықтауды талап етеді");</p> <p>1.1) егер пысықтау (40 күнтізбелік күн ішінде) - "байқаудан өткізуге жол беріледі", "байқаудан өткізуге жол берілмейді" шешімі;</p> <p>2) пилоттық білім беру ұйымдарында байқаудан өткізу (байқаудан өткізу нәтижелері бойынша талдамалық анықтама), бір мезгілде иесіздендірілген түпнұсқа-оқулықтар макеттерін қоғамдық талқылау жүргізіледі);</p> <p>3) сынақтан кейінгі ғылыми-педагогикалық сараптама ("пәндік сараптама комиссиясының қарауына ұсынылады", "білім беру ұйымдарында пайдалануға ұсынылмайды" деген шешім);</p> <p>4) пәндік сараптама комиссиясында қарау (шешім: "тізбеге енгізіледі"; "тізбеге енгізілмейді"; "тізбеге базалық оқулық ретінде енгізіледі")</p> | <p>1) сынақтан өткізу алдындағы сараптама (шешім: ескертулер мен кемшіліктер болған жағдайда – "пысықтауға жіберіледі"; ескертулер мен кемшіліктер болмаған жағдайда – "байқаудан өткізуге жіберіледі";</p> <p>1.1) егер пысықтау (30 күнтізбелік күннен артық емес): - шешім: "апробацияға жіберіледі"</p> <p>2) пилоттық білім беру ұйымдарында байқаудан өткізу (байқаудан өткізу нәтижелері бойынша талдамалық анықтама), қатар жобаларды ашық қоғамдық талқылау жүргізіледі;</p> <p>2.1) апробация нәтижелері бойынша пысықтау (30 күнтізбелік күннен артық емес);</p> <p>3) пысықталған жобалардың сынақтан кейінгі сараптамасы (шешім:</p> |

| | |
|--|---|
| | ескертүлер мен кемшіліктер болмаған жағдайда – "білім беру саласындағы уәкілетті орган бекітуге енгізеді"; ескертүлер мен кемшіліктер болған жағдайда – "білім беру саласындағы уәкілетті орган бекітуге енгізбейді") |
| Қайта басып шығарылатын басылымдарға сараптама | |
| 1) ғылыми-педагогикалық сараптама (шешім: "пәндік сараптамалық комиссияның қарауына ұсынылады", "білім беру ұйымдарында пайдалануға ұсынылмайды", "нысықтауды талап етеді"); 1.1) егер нысықтау (40 күнтізбелік күн ішінде) - шешім: "пәндік сараптамалық комиссияның қарауына ұсынылады", "білім беру ұйымдарында пайдалануға ұсынылмайды". 2) пәндік сараптама комиссиясында қарау (шешім: "тізбеге енгізіледі"; "тізбеге енгізілмейді"; "тізбеге базалық оқулық ретінде енгізіледі") | Қайта басып шығару қарастырылмаған |
| Оқулықтар мен ОӘК сапасының мониторингі | |
| Тізбеге енгізілген бастауыш, негізгі орта, жалпы орта білім берудің оқулықтары мен ОӘК-ін бағалау үшін педагогтер мен ата-аналардың сауалнамалары негізінде жүргізіледі (мониторинг нәтижелері бойынша талдамалық анықтама) | Қарастырылмаған |
| Сараптама үдерісі үшін негізгі ақпараттық ағындар | |
| Ақпараттың кіріс ағындары | |
| Кіріс деректер (баспа, авторлар, зат және т. б. туралы ақпарат); Ішкі заңнамалық сараптама (ҚР БҒМ №344 бұйрығына қосымша); Тәуелсіз бағалау қорытындысы (ҚР БҒМ №344 бұйрығына қосымша); Өтініш (ҚР БҒМ №344 бұйрығына қосымша) Мемлекеттік қызметті көрсету үшін қажетті құжаттар тізбесі (ҚР БҒМ №344 бұйрығына қосымша) Сараптау үшін оқулық басылымдарын бағалау критерийлері; Құжат үлгілері | Кіріс деректер (әзірлеуші туралы ақпарат, пән және т. б.); Құжаттың электрондық нұсқасы; Сараптау үшін Үлгілік оқу жоспарлары және оны бағалау критерийлері; Құжат үлгілері |
| Ақпараттың шығыс ағындары | |
| Сараптама тобының нысан бойынша сараптамалық шешімі; Сарапшылардың ескертүлері мен ұсыныстары; Ұйымның жауапты сарапшысынан талдамалық анықтамалар; Нысан бойынша сараптамалық қорытынды (ҚР БҒМ №344 бұйрығына қосымша); ҚР БҒМ бұйрығымен бекіту үшін орта білім беру ұйымдары үшін оқулықтардың, мектепке дейінгі ұйымдар, орта білім беру ұйымдары үшін оқу-әдістемелік кешендердің, оның ішінде электрондық нысандағы тізбесі; РҒПО бекіткен ақылы сараптамадан өткен оқу басылымдарының тізбесі; Есептілік | Сараптама тобының нысан бойынша сараптамалық шешімі; Сарапшылардың ескертүлері мен ұсыныстары; Ұйымның жауапты сарапшысынан талдамалық анықтамалар Есептілік |

Оқу басылымдарын сараптау білім берудің барлық деңгейлері үшін оқу әдебиетін бағалаудың бірыңғай жүйесі бойынша жүзеге асырылады.:

1) мектепке дейінгі тәрбие мен оқытуға арналған оқулықтар мен ОӘК-ні сараптау әдістемесі мен критерийлері;

2) бастауыш, орта және жалпы орта білім беруге арналған оқулықтар мен ОӘК-ні сараптау әдістемесі мен критерийлері;

3) техникалық және кәсіптік білім беруге арналған оқулық басылымдарын сараптау әдістемесі мен критерийлері;

4) жоғары оқу орны және жоғары оқу орнынан кейінгі білім беруге арналған оқу басылымдарын сараптау әдістемесі мен критерийлері қамтылуға тиіс;

5) электрондық оқу басылымдарын сараптау әдістемесі мен критерийлері қамтылуға тиіс.

Оқу әдебиетін бағалауға арналған құрал мынадай негізгі бөлімдерден (аспектілерден) тұратын сараптама матрицасын білдіреді: оқулықтың құрылымы мен ұйымдастырылуы; мазмұны; дидактикалық аспект; әдістемелік аспект; тілдік деңгей; психологиялық және психолингвистикалық аспектілер; мәдени-құндылық аспектілері; акт интеграциясы; саралау аспектілері; макет және дизайн.

Әрбір критерий үшін оның маңыздылығы анықталады және салмақ коэффициенті тағайындалады.

Бұл критерийлер психологиялық-педагогикалық, этномәдени және эргономикалық талаптар негізінде сараптама мен мониторингтің ақпараттық моделінің негізінде жатыр.

Талқылау

Ақпараттық модель сарапшылардың интерактивті дауыс беруімен және оқу контентін мультикритериалдық бағалау мүмкіндіктерімен сараптама жүйесінің базасында іске асырылатын болады және білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын бағалау сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Сарапшылардың қажеттіліктерін анықтау және ЕРЕС электрондық платформасын әзірлеу мақсатында Google "Сараптама үдерісін күшейту және жетілдіру" сауалнамасы өткізілді. Сауалнаманың мақсаты сараптама үдерісін ұжымдық күшейту және жетілдіру үшін білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын сараптау тәжірибесі мен білімі туралы сарапшылардың пікірлерін жинау болып табылады.

Сарапшылардың 63,4%-ы жұмыс үшін ыңғайлы интерфейсті, күнделікті үдерістерді автоматтандыруды қамтамасыз ететін және сараптама жүргізу уақытын үнемдейтін электрондық сараптама платформаны әзірлеу қажеттілігін атап өтті. Сарапшылар платформа құрылымында өзара әрекеттесу және байланыс құралдарын, аналитиканы, сондай-ақ қажетті құжаттар мен сілтемелердің анықтамалық қорын ұсынуды ұсынады.

Сарапшылардың сауалнамасын талдау нәтижелері білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын сараптаудың электрондық платформасының (ЕРЕС) функционалын жобалау кезінде ескерілді.

Ал, білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарын сараптаудың электрондық платформасының (ЕРЕС) мақсаты мен мазмұнын былай тұжырымдауға болады.

ЕРЕС электрондық платформасын дамытудың мақсаттары: мультикритериалдық бағалау мүмкіндіктерімен білім беру ресурстарын жоспарлау және сараптау үшін бірыңғай платформа құру; білім беру ресурстарын сараптау рәсімінің сапасын арттыру және ашықтығын қамтамасыз ету; сыртқы сарапшылардың дерекқорын жүргізу; сарапшылардың интерактивті дауыс беру үдерісін жүзеге асыру; оқу басылымдарының сапасын бақылау және апробациялау үдерістерін сүйемелдеу; есептілік пен BI-аналитиканың әртүрлі түрлерін қалыптастыру.

Қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін мынадай негізгі міндеттерді шешу қажет: ұйымның бизнес-үдерістерін талдау және оқу басылымдарын, үлгілік оқу жоспарларын, үлгілік оқу бағдарламаларын сараптау бойынша бизнес-процестердің технологиялық картасын әзірлеу; білім беру ресурстарын мультикритериалдық бағалауға қойылатын талаптарды қалыптастыру; үлгілік оқу жоспарларын, үлгілік оқу бағдарламаларын сараптау мен апробациялаудың әдіснамалық негіздері мен критерийлерін әзірлеу; ЕРЕС электрондық платформасын әзірлеуге техникалық тапсырма мен жұмыс құжаттамасын әзірлеу; сарапшылардың интерактивті дауыс беруімен білім беру ресурстарының сапасын бағалаудың бағдарламалық модулін әзірлеу; білім беру ресурстарын мультикритериалдық бағалаудың сараптамалық жүйесінің тұжырымдамасын әзірлеу; сараптама жүйесінің білім базасының архитектурасын әзірлеу; электрондық платформада сарапшылардың жұмысын ұйымдастыру жөніндегі нұсқаулықтарды әзірлеу; ЕРЕС электрондық сараптама платформасын тестілеуді ұйымдастыру және өткізу.

ЕРЕС электрондық платформасының архитектурасы: сыртқы контур (функционалдық Web-портал), ішкі контур (BI-аналитика, зияткерлік блок, блокчейн модуль, үдерістерді мониторингтеу және пайдаланушының іс-қимылын логиялау жүйесі, сұраныстарды өңдеу жүйесі), деректермен алмасу жүйесін, ДҚБЖ-ны қамтиды.

Блокчейн технологиясын қолдану ақпараттың құпиялылығын қамтамасыз ету және электрондық платформаның сенімділігін арттыру мақсатында жоспарланып отыр.

ЕРЕС электрондық платформасы 15 бағдарламалық модульден тұрады (2-кесте). 1-11 модульдері сыртқы сарапшыларға, ЕСО РФПО, баспалардың, уәкілетті ұйымдардың қызметкерлеріне және барлық авторизацияланған пайдаланушыларға олардың қолжетімділік құқықтарына сәйкес білім беру мазмұны мен білім беру ресурстарының сараптамасы бойынша функционалға қолжетімділікті ұсынады.

Интеллектуалдық блокта (12 Модуль) сараптамалық жүйе және машиналық оқыту механизмі іске асырылады. VI-аналитика ішкі жүйесі 3 бағдарламалық модульді, 13-15 модульді қамтиды және есептіліктің әртүрлі түрлерін қалыптастыруға, оларды визуализациялауға, сондай-ақ болжамдық функцияларды орындауға мүмкіндік береді.

Кесте 2. ЕРЕС электрондық платформасының бағдарламалық модульдері

| № | Модульдің атауы | Функционал |
|-----|--|---|
| 1. | Қоғамдық ақпарат | Ақпаратты қарау |
| 2. | Аутентификация | Тіркеу, Модерация, Авторизация |
| 3. | Жоспарлау | Бағалау критерийлерін қалыптастыру, тақырыптық жоспарды қалыптастыру, тақырыптық жоспарлар мұрағатын қалыптастыру (жылдар бойынша), сыртқы сарапшылар базасын қалыптастыру, сарапшылар базасының мұрағатын қалыптастыру |
| 4. | Оқу басылымдарының базасын сараптамаға қалыптастыру | ХҚКО-дан сараптамаға өтініштер қабылдау, оқу басылымдарының базасын сараптамаға құру (базаны қалыптастыру, оқу басылымдарын кодтау. pdf файлдарын бекіту), оқулық басылымдарының базасын сараптамаға түзету, бұйрық бойынша сыртқы сарапшыларды бекіту және тарату |
| 5. | Оқулық басылымдарын сараптау (алғашқы сараптама және нысықтау) | Оқу материалын қарау, сараптаманың 1-кезеңі (қателерді анықтау және қателер түрлерін анықтау), сараптаманың 2-кезеңі (критерийлер бойынша бағалау), сараптаманың 3-кезеңі (сараптамалық шешімді қалыптастыру), сыртқы сарапшылардың жұмысы туралы есепті қарау (жүйеге кіру, іс-әрекеттер тізбесі), сараптамалық шешімді келісу, бекіту сараптама қорытындысын шығару және көрсетілетін қызметті алушыларға жіберу, оқу басылымдары бойынша шешімдердің мәртебесін қарау, оқу басылымдарын кітапханаға тапсыру |
| 6. | Пәндік комиссия | Оқу материалын қарау, комиссия шешімін бекіту және көрсетілетін қызметті алушыларға тарату, оқу басылымдары бойынша шешімдердің мәртебесін қарау, оқу басылымдары тізбесі үшін тізімді қалыптастыру, бекітілген оқу басылымдары тізбесін қарау, шешімдері бар оқу басылымдары базасының мұрағатын қалыптастыру |
| 7. | Үлгілік оқу жоспарлары және оның сараптамасы | ҚР БҒМ сараптамаға өтініштерді қабылдау, ҮОЖ құжаттары қорын құру (қорды қалыптастыру, өңдеу, pdf файлдарды бекіту), ҮОЖ, қарау, сараптаманың 1-кезеңі (қателерді анықтау және қателер түрлерін анықтау), сараптаманың 2-кезеңі (өлшемиарттар бойынша бағалау), сараптаманың 3-кезеңі Шешімдерін қалыптастыру) және сараптамалық шешімді келісу, сараптамалық қорытындыны бекіту және көрсетілетін қызметті алушыларға жіберу, ҮОЖ бойынша шешімдердің мәртебесін қарау, ҮОЖ қорының мұрағатын шешімдермен қалыптастыру |
| 8. | Оқулық басылымдарын апробациялау | Мектептерді іріктеу үшін критерийлерді қалыптастыру, пилоттық мектептер мен мұғалімдер тізімін қалыптастыру, пәндер бойынша саны, бағалау материалдарын (матрицалар, сауалнамалар) қалыптастыру, оқу материалын бағалау, оқулық басылымдарын апробациялау қорытындыларын талдау және шығару, оқулық басылымдарын апробациялау бойынша материалдар мұрағатын қалыптастыру (жылдар бойынша) |
| 9. | Оқулық басылымдары сапасының мониторингі | Сауалнама материалдарын қалыптастыру, әдістеме, сауалнама, пәндер бойынша талдау, оқулық басылымдарының мониторингі бойынша материалдар мұрағатын қалыптастыру (жылдар бойынша) |
| 10. | Интерактивті дауыс беру (ЭК, ПЭК, апробация, ҮОЖ сараптамасы, ҮОЖ) | Оқу материалын қарау, дауыс беру параметрлерін анықтау, интерактивті дауыс беру, дауыс беру нәтижелерін талдау, |

| | | |
|-----|-------------------------|--|
| 11. | Әкімшілендіру | Қолжетімділік құқықтарын басқару, пайдаланушыларды басқару, Нормативтік-анықтамалық ақпаратты басқару, жүйе модульдеріндегі ақпаратты басқару, жүйе оқиғаларын қарау, есепке алу, ресурстарды пайдалануды бақылау, конфигурацияны басқару, online немесе offline режимдерді (күйлерді) қоса алғанда, деректердің қол жетімділігін басқару, деректерді көшіру және қалпына келтіру, |
| 12. | Жасанды интеллект блогы | Білім қорын қалыптастыру (Білім қорын қалыптастыру, дұрыстығы мен сәйкессіздігін тексеру), шешімдер қабылдау, сыртқы сарапшылар рейтингін есептеу, ұсынымдар шығару |
| 13. | Есептілік | Есептілік нысандарын/түрлерін/түрлерін конфигурациялау, есептілік деректерін жүйелеу, есептерді қалыптастыру, есептерді қарау |
| 14. | Болжау | Болжамдарды қарау, болжам негізінде қызметкерлерді хабардар ету |
| 15. | Визуализация | Есептілік нысандарын графикалық түрде ұсыну, болжамдық талдауды графикалық түрде ұсыну |

Білім беру ресурстарымен қамтамасыз ету мониторингі сараптама нәтижелері бойынша ҮОЖ, ҮОЖ пәндерінің және оқу басылымдарының қамтамасыз етілуі туралы есептілікті, сондай-ақ келесі жылға білім беру ресурстарының сараптамасын жоспарлау үшін болжамдарды қалыптастыру арқылы VI-аналитика кіші жүйесінде іске асырылады [9].

Электрондық платформаның функционалдығын қамтамасыз ету үшін Egov.kz порталы мен Ұлттық білім беру деректер қорымен интеграциялау мүмкіндігі қарастырылған.

Электрондық платформаның техникалық ерекшеліктері

ЕРЕС электрондық платформасы жасанды интеллект алгоритмдерін қолдана отырып, заманауи цифрлық технологиялар негізінде құрылады. Электрондық платформа жүйесі бөлінген архитектураға ие және келесі функционалды компоненттерден тұрады (ішкі жүйелер мен ішкі жүйелер топтары):

- клиенттік қосымшаның ішкі жобасы;
- серверлік қосымшаның ішкі жобасы (кері байланыс модулін қоса алғанда);
- деректер қоры.

Жүйенің компоненттері өзара біріктірілген болуы және бір модульдің функцияларына екіншісінен қол жеткізу мүмкіндігін қамтамасыз етуі тиіс.

ЕРЕС электрондық платформасы және деректер қоры РФПО серверінде орналастырылып, жұмыс істейді. Платформаны пайдаланушылар үшін авторландырылған қолжетімділік берілетін болады.

Электрондық платформа пайдаланушыларға Web-интерфейс арқылы деректер мен функцияларға қолжетімділік беріп, онымен ұйымның корпоративтік желісінің кез келген компьютерінде, сондай-ақ Internet арқылы жұмыс істеу мүмкіндігін қамтамасыз етуі тиіс.

Электрондық платформа пайдаланушылардың іздеу сұрауларымен жұмысты басқаруды, оның ішінде іздеу сұрауының нәтижелерін кезең-кезеңімен сүзуді қамтамасыз етеді, пайдаланушылардан түрлі арналар арқылы сұрауларды өңдеуді жүзеге асырады.

Электрондық платформада оған енгізілетін барлық ақпаратты есепке алу және жіктеу, қажет болған жағдайда объектілердің қосымша типтері мен санаттарын (оның ішінде пайдаланушылар санаттарын) енгізу, құру және теңшеу мүмкіндігі сақталуы тиіс.

ЕРЕС электрондық платформасының мүмкіндіктері келесі жалпы талаптарға сай болуы керек:

- жүйеде жүргізілетін барлық әрекеттер мен өзгерістердің журналын жүргізу;
- web-сервистерді пайдалану арқылы машинамен оқылатын форматта ақпарат алмасуды жүзеге асыру;

- барлық сұраныстарды есепке алудың кіші жүйелерімен қамтамасыз ету,

Барлық ішкі жүйелердің графикалық пайдаланушы интерфейсі интуитивті болуы керек және келесі талаптарға сай болуы керек:

- объектілер туралы деректерді басқару нысанының барлық деректері бар бір экран шеңберінде жүзеге асырылады.

- бір уақытта бірнеше терезені ашу мүмкіндігі және олардың арасында ыңғайлы навигация.
- экрандар (терезелер) арасында тінтуірдің ең аз шертүімен жылжу мүмкіндігі.

Деректер жоғалған жағдайда оларды қалпына келтіруді әкімші жүйенің техникалық құралдары мен жүйелік бағдарламалық құралдарын пайдалана отырып, деректердің резервтік көшірмесін жасауды және қалпына келтіруді жүргізу регламентіне сәйкес жүргізуге тиіс.

Электрондық платформаның жасаудың кезеңдері

ЕРЕС электрондық платформасын жасаудың кезеңдері 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3. ЕРЕС электрондық платформасын жасау кезеңдері

| № | Жұмыстың кезеңдері | Іс-шаралар |
|---|---|--|
| 1 | Электрондық платформаға қойылатын талаптарды анықтау және оларды талдау | <ul style="list-style-type: none"> • білім беру ресурстарын сараптау бойынша бизнес-процестерді зерттеу; • бизнес-үдерістердің технологиялық картасын әзірлеу; • сарапшылардың сауалнамасы; • электрондық платформаны пайдаланушылардың функционалдығы мен рөлдерін анықтау |
| 2 | Жобалау | <ul style="list-style-type: none"> • электрондық платформаны іске асыру үшін технологиялар мен бағдарламалық құралдарды іріктеу; • мәліметтер базасының схемасын жобалау; • жүйе конфигурациясын жобалау; • электрондық платформа архитектурасын жобалау; • пайдаланушы интерфейсінің дизайнын жобалау; • техникалық құжаттаманы әзірлеу; • сараптамалық жүйенің архитектурасын жобалау |
| 3 | Жасау | <ul style="list-style-type: none"> • мәліметтер базасын құру; • электрондық платформаның функционалдық модульдерін бағдарламалық іске асыру; • пайдаланушы интерфейсін енгізу; • серверлік қосымшаны баптау және жөндеу; • порталмен интеграцияны қамтамасыз ету Egov.kz және ҰБДҚ; • сараптамалық жүйені бағдарламалық іске асыру |
| 4 | Тестілеу | <ul style="list-style-type: none"> • платформа модульдерін тестілеу; • платформа интерфейсін тестілеу; • платформаның сенімділігін тексеру |
| 5 | Енгізу | <ul style="list-style-type: none"> • пайдаланушыларды оқыту • электрондық платформа пайдаланушыларының нұсқаулығын әзірлеу |

Қорытынды

Электрондық платформа оқулықтар, ОӘК, үлгілік оқу жоспарлары мен оқу бағдарламаларын сараптау жүйесін цифрландыру және автоматтандыру негізінде сараптама мен мониторингтің бірыңғай жоғары технологиялық жүйесін құруға мүмкіндік береді.

ЕРЕС электрондық платформасы ашықтық, масштабталу және сыртқы жағдайларға бейімделу қағидаттарына негізделеді, бұл платформаның функционалдығын одан әрі кеңейтуді және оны жаңғыртуды, сонымен қатар, сыртқы ақпараттық жүйелермен интеграциялау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Республикалық білім мазмұнын сараптау ғылыми-практикалық орталығы мен Ы. Алтынсарин атындағы Ұлттық білім Академиясы және OR 11465474 "Білім және ғылым жүйесін жаңғыртудың ғылыми негіздері" зерттеуін бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде бірлесіп жүргізілді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Eckhardt Fuchs. *Textbook Quality. A Guide to Textbook Standards*. 2013. 135 с.
2. K. Mahmood. *Standardization of textbook evaluation criteria through development of quality textbook indicators*. 2011. 147 с.
3. Михеева С.А. Система формализованных критериев оценки школьного учебника. // *Вопросы образования*. 2015. № 4. С. 147–183.
4. *Math Textbook Adoption Evaluation Rubric - ORIGO Education* Доступно на <https://www.origoeducation.com>

5. Nevada Academic Content <https://www.washoeschools.net/Page/1050>

6. High School Science Advanced Placement Chemistry Textbook Adoption 2021.

7. Мектепке дейінгі тәрбие мен оқытудың, бастауыш, негізгі орта, жалпы орта білім берудің үлгілік оқу жоспарларын, үлгілік оқу бағдарламаларын сараптау және сынақтан өткізу жөніндегі жұмысты ұйымдастыру қағидаларын бекіту туралы (Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2021 жылғы 18 мамырдағы № 221 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2021 жылғы 20 мамырда № 22776 болып тіркелді) //Электрондық ресурс: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022776> (қаралым уақыты 03.07.2022)

8. Оқулықтарды, оқу-әдістемелік кешендері мен оқу-әдістемелік құралдарын әзірлеу, оларға сараптама, сынақ өткізу және мониторинг жүргізу, оларды басып шығару жөніндегі жұмысты ұйымдастыру қағидаларын бекіту туралы (Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2012 жылғы 24 шілдедегі № 344 Бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2012 жылы 28 тамызда № 7876 тіркелді) //Электрондық ресурс: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1200007876> (қаралым уақыты 03.07.2022)

9. Нурбекова Ж.К. Кусаинов Г.М., Михалев Р.К., Танирбергеннова А.Ш. Информационное моделирование процесса оценивания качества содержания при экспертизе типовых учебных планов и типовых учебных программ // ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», -№3(75), -2021. С. 138-147. <https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.17>

References:

1. Eckhardt Fuchs. Textbook Quality. A Guide to Textbook Standards. 2013. 135.

2. K. Mahmood. Standardization of textbook evaluation criteria through development of quality textbook indicators. 2011. 147.

3. Miheeva S.A. (2015) Sistema formalizovannykh kriteriev ocenki shkol'nogo uchebnika [The system of formalized criteria for evaluating a school textbook]. Voprosy obrazovaniya. № 4. 147–183. (In Russian)

4. Math Textbook Adoption Evaluation Rubric - ORIGO Education <https://www.origoeducation.com>

5. Nevada Academic Content <https://www.washoeschools.net/Page/1050>

6. High School Science Advanced Placement Chemistry Textbook Adoption 2021.

7. Мектепке дейінгі тәрбие мен оқытудың, бастауыш, негізгі орта, жалпы орта білім берудің үлгілік оқу жоспарларын, үлгілік оқу бағдарламаларын сараптау және сынақтан өткізу жөніндегі жұмысты ұйымдастыру қағидаларын бекіту туралы [On the approval of the principles of organization of work on evaluation and testing of sample curricula, sample curricula of preschool education and training, primary, basic secondary, general secondary education]. (Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2021 жылғы 18 мамырдағы № 221 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2021 жылғы 20 мамырда № 22776 болып тіркелді) //Электрондық ресурс: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022776> (қаралым уақыты 03.07.2022) (In Kazakh)

8. Оқулықтарды, оқу-әдістемелік кешендері мен оқу-әдістемелік құралдарын әзірлеу, оларға сараптама, сынақ өткізу және мониторинг жүргізу, оларды басып шығару жөніндегі жұмысты ұйымдастыру қағидаларын бекіту туралы [On approval of principles of organization of work on development of textbooks, teaching-methodical complexes and teaching-methodical tools, carrying out examination, testing and monitoring of them, and their printing]. (Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2012 жылғы 24 шілдедегі № 344 Бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2012 жылғы 28 тамызда № 7876 тіркелді) //Электрондық ресурс: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1200007876> (қаралым уақыты 03.07.2022) (In Kazakh)

9. Nurbekova Zh.K. Kusainov G.M., Mihalev R.K., Tanirbergenova A.Sh. (2021) Informacionnoe modelirovanie processa ocenivaniya kachestva sodержaniya pri jekspertize tipovykh uchebnykh planov i tipovykh uchebnykh programm [Information modeling of the process of evaluating the quality of content in the examination of standard curricula and standard curricula]. [VESTNIK KazNPU im. Abaya, seriya «Fiziko-matematicheskie nauki», -№3(75), -2021. S. 138-147. <https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.17> (In Russian)

Н.Т. Ошанова^{1*}, Ж.Қ. Қиынова², Ә.Қ. Құрманқұлова²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: nurzhamal_o_t@mail.ru

ЦИФРЛЫҚ АЛШАҚТЫҚ МӘСЕЛЕСІ ЖӘНЕ ОНЫ ЖЕҢУ ТӘСІЛДЕРІ

Аңдатпа

Мақалада цифрлық алшақтық мәселесі және оны жеңудің бірқатар тәсілдері қарастырылған. Цифрлық алшақтықты жою білім беруді дамытпай мүмкін емес. Сауатсыздықты еңсеру және халықты ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану дағдыларына үйрету, компьютерлік сауаттылыққа үйрету цифрлық алшақтықты еңсеру жолындағы маңызды шаралар болып табылады. Цифрлық алшақтықты жоюдың бір құралы – цифрлық білім беру ресурстарын дамыту болып табылады. Цифрлық білім беру ресурстарын оқытуда қолдану сабақтың мүмкіндіктерін кеңейтуге, сонымен қатар оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Цифрлық түрде ұсынылған оқу материалдары оларды сабақтың әртүрлі кезеңдерінде қиындықсыз пайдалануға және сабақтың қойылған міндеттерін шешуге мүмкіндік беретіндігі жайлы баяндалған. Қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларға негізделген жаңа білім беру технологияларын қолдану осы елдердегі цифрлық алшақтықты азайтуға ықпал етуі мүмкін.

Түйін сөздер: цифрлық технологиялар, білім беру жүйесі, цифрлық алшақтық, ақпараттық орта, цифрлық білім беру ресурстары.

Аннотация

Н.Т. Ошанова¹, Ж.Қ. Қиынова², А.Қ. Құрманқұлова²

¹Казакский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

²Казакский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

ПРОБЛЕМА ЦИФРОВОГО РАЗРЫВА И СПОСОБЫ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ

В статье рассматривается проблема цифрового разрыва и ряд способов его преодоления. Устранение цифрового разрыва невозможно без развития образования. Преодоление неграмотности и обучение населения навыкам использования информационно-коммуникационных технологий, обучение компьютерной грамотности являются важными мерами на пути преодоления цифрового разрыва. Одним из инструментов преодоления цифрового разрыва является развитие цифровых образовательных ресурсов. Использование цифровых образовательных ресурсов в обучении позволяет расширить возможности урока, а также повысить его эффективность. Изложено, что представленные в цифровом виде учебные материалы позволяют без проблем использовать их на разных этапах урока и решать поставленные задачи урока. Использование новых образовательных технологий, основанных на современных информационно-коммуникационных технологиях, может способствовать сокращению цифрового разрыва в этих странах.

Ключевые слова: цифровые технологии, система образования, цифровой разрыв, информационная среда, цифровые образовательные ресурсы.

Abstract

THE PROBLEM OF THE DIGITAL DIVIDE AND WAYS TO OVERCOME IT

Oshanova N.T.¹, Kiyanova Zh. K.², Kurmankulova A.K.²

¹Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

The article discusses the problem of the digital divide and a number of ways to overcome it. Bridging the digital divide is impossible without the development of education. Overcoming illiteracy and training the population in the use of information and communication technologies, computer literacy training are important measures to overcome the digital divide. One of the tools to bridge the digital divide is the development of digital educational resources. The use of digital educational resources in teaching allows you to expand the possibilities of the lesson, as well as increase its effectiveness. It is stated that the teaching materials presented in digital form make it possible to use them without problems at different stages of the lesson and solve the tasks of the lesson. The use of new educational technologies based on modern information and communication technologies can help reduce the digital divide in these countries.

Keywords: digital technologies, education system, digital divide, information environment, digital educational resources.

Кіріспе

Білім беру жүйесі – бұл әрдайым ақпараттық ортада жүзеге асырылатын іс-әрекет. Цифрлық технологияларды білімге кеңінен енгізу қазіргі қоғамдағы теңсіздіктің жаңа түрін жеңумен байланысты. Цифрлық технологиялар тез арзандап, қолданылу аясы кеңінен болса да, олардың таралуы біркелкі емес. Нәтижесінде халықтың кейбір топтары цифрлық технологияларға қол жеткізеді, ал басқалары қол жеткізе алмайды. Цифрлық технологияларға қол жетімділіктің теңсіздігіне байланысты пайда болатын алшақтық көбінесе цифрлық деп аталады.

Цифрлық алшақтық адамдар, елдер және тіпті аймақтар арасында қалыптасады. Цифрлық технологияларға қол жеткізе алмайтын адамдар, оқу орны, ұйымдар мен мемлекеттер осындай қол жетімділігі бар ақпаратпен жұмыс істеудің артықшылықтарын жоғалтады. Мектептегі және үйдегі цифрлық құрылғылар мен Интернетке қол жеткізе алатындар мен мұндай қол жетімділігі жоқ адамдар арасында білім берудегі цифрлық алшақтық пайда болады. Цифрлық технологиялардың қол жетімділігі артып, технологиялық цифрлық алшақтық маңызды фактордан елеусіз факторға айналады. Алайда, технологиялық цифрлық алшақтық жойылған сайын, жаңа цифрлық алшақтық – өнімді, шығармашылық жұмысты орындау үшін цифрлық технологияны белсенді қолданатындар мен пассивті қолданатындар арасындағы теңсіздік дәстүрлі күнделікті функцияларды орындау үшін артады. Қазіргі әлемдегі теңсіздіктің жаңа түрі - цифрлық алшақтық ерекше қызығушылық тудырады. Білім мен ақпаратқа ие болу қоғамды (сондай-ақ әртүрлі елдердің қоғамдарын) өзара тең емес әлеуметтік топтар мен топтарға бөлетін құндылық пен жаңа өлшемге айналады. Ақпараттық қоғамның ерекшелігі - еркін ақпарат алмасу кедейлік пен теңсіздікті жеңуге ықпал етеді, бірақ егер еркін алмасуға қол жетімділік болмаса, даму тенденциялары айтарлықтай төмендейді. Қазірдің өзінде ХХ ғасырдың ортасында әлемдік ғылыми қауымдастық ақпарат туралы басқа формаларға қарағанда басымдыққа ие болатын капитал нысаны ретінде айта бастады. Цифрлық алшақтықты еңсерудің әлемдік тәжірибесінде тиімділік пен нәтижелілікке тығыз ынтымақтастық және барлық мүдделі тараптардың, бірінші кезекте, мемлекеттік билік органдарын қоса алғанда, күш-жігерін біріктіру арқылы ғана қол жеткізуге болады деп айтылған. Қазіргі мемлекеттер цифрлық қоғамның құрылысын осы салада мақсатты ұлттық саясатты жүзеге асыра отырып, олардың әлеуметтік-экономикалық, саяси және мәдени дамуының негізі ретінде қарастырады.

Зерттеу әдіснамасы

Біздің заманымыздың жаһандық мәселелерінің бірі – цифрлық алшақтық мәселесі, оны жоғары технологияларды дамытуға, адамдарда цифрлық құзыреттілікті қалыптастыруға байланысты шаралар кешенін жүзеге асыру арқылы шешуге болады. Цифрлық алшақтықты жеңудің маңызды шарты әр түрлі жас топтары өкілдерінің цифрлық құзыреттілігін, яғни ақпараттық-коммуникациялық технологияларды өмірдің әртүрлі салаларында тиімді және қауіпсіз қолдану қабілетін қалыптастыруға мүмкіндік беретін жаңа білім беру технологияларын қолдануды көздейтін білім беру жүйесін жетілдіру болып табылады.

Цифрлық алшақтық ұғымы (ағылш. digital divide) ақпараттық-коммуникациялық технологияларға біркелкі қол жеткізуді білдіреді. Бұл ұғыммен қатар «цифрлық теңсіздік», «цифрлық кедергі», «ақпараттық теңсіздік» терминдері де қолданылады [1]. Жаһандық масштабта цифрлық алшақтық - бұл жоғары дамыған және дамушы елдер арасындағы ақпараттық технологиялардың даму деңгейіндегі айырмашылық. Қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларға қол жеткізу табысты әлеуметтік-экономикалық дамудың қажетті шарты болып табылатыны белгілі.

Бұл проблема 2000 жылы Окинавада өткен «Үлкен сегіздік» елдерінің саммитінде талқыланды, оның барысында «жаһандық ақпараттық қоғамның Хартиясы» қабылданды, оның негізгі қағидаларының бірі әлемнің барлық азаматтарына ақпараттық технологиялардың қол жетімділігі болып табылады. 2000 жылы БҰҰ-ның «Мыңжылдық саммитінде» әлемдік қоғамдастық алдында тұрған басым міндеттердің бірі ретінде мыналар белгіленді: «әркім жаңа технологиялардың, әсіресе ақпараттық және коммуникациялық технологиялардың артықшылықтарын пайдалана алуы үшін шаралар қабылдау». 2011 жылдың маусым айында БҰҰ интернет желісіне кіруді адамның ажырамас құқығы деп таныды [2].

Соңғы екі онжылдықта қарастырылып отырған проблемаға көп көңіл бөлінгеніне және ақпараттық-коммуникациялық технологияларды дамытуға өсіп келе жатқан инвестицияларға қарамастан, қазіргі уақытта Цифрлық алшақтық мәселесі әлі шешілген жоқ. Соңғы 10 жылда Интернетті пайдаланушылар саны үш еседен астамға артқанына қарамастан, 2016 жылы

Дүниежүзілік Банктің деректері бойынша әлем халқының 60% - ға жуығы немесе 4 млрд адам Интернетке қол жеткізе алмады, 6 млрд кең жолақты байланысқа ие болмады, 2 млрд ұялы телефондарды пайдаланбады [1].

Жағдайдың өзгеруі үшін тек ақпараттық-коммуникациялық инфрақұрылымды құру жеткіліксіз, жалпы білім беру бағдарламаларына ақпараттық-коммуникациялық технологияларды игеруді қосу, компьютерлік сауаттылықтың негіздерін зерделеу бойынша оқу материалдарын әзірлеу, сондай-ақ IT-мамандарды даярлауды ұйымдастыру маңызды. Дүниежүзілік банк жариялаған «2016 жылғы әлемдік даму туралы есеп: Цифрлық дивидендтер» [1] атап өткендей, цифрлық революцияның артықшылықтарын пайдалану үшін оларды «аналогтық толықтырулармен» біріктіру керек: компаниялар арасындағы бәсекелестікті қамтамасыз ететін заңнама, қызметкерлердің біліктілігін арттыру. Тек осы жағдайда ғана экономикалық өсу қарқынын арттыру, жұмыс орындарының санын ұлғайту және қызметтердің сапасын арттыру түрінде «Цифрлық дивидендтер» алуға болады.

Цифрлық алшақтық мәселесі туындаған кезде оған теориялық көзқарастар үнемі өзгеріп отырды. Оны зерттеудің бірінші кезеңінде зерттеушілер азаматтардың Интернетке және АКТ-ға біркелкі емес қол жетімділігіне назар аударды, нәтижесінде интернеттегі қызметтерге, ақпарат пен білімге тең емес қол жетімділік пайда болады.

Зерттеу нәтижелері

Қазақстанда цифрлық алшақтық мәселесі мегаполистер мен шалғай елді мекендер арасындағы ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың таралу деңгейіндегі алшақтық мәселесі болып табылады. Сонымен қатар, алшақтық қазіргі заманғы технологияларға қол жеткізудің техникалық мүмкіндігінің жоқтығымен ғана емес, сонымен қатар қажетті дағдылардың, білімнің немесе жастың болмауына байланысты оларды пайдалану мүмкін еместігімен де күрделене түседі. Ұрпақтар арасындағы цифрлық алшақтық маңызды болып қала береді. Жас алшақтығы дамыған инфокоммуникациялық құрылымы бар ірі қалаларда ғана төмендейді. Зейнеткерлер, қарттар мен мүгедектер арасында цифрлық технологияларды меңгеру деңгейінің төмендігі ерекше алаңдаушылық тудырады. Тіпті Еуроодақ елдерінде зейнеткерлердің 53% - ы ешқашан Интернетті пайдаланбаған, зейнеткерлердің тек 23% - ы мемлекеттік қызметтерді электронды түрде пайдаланады [3].

Жаңа цифрлық алшақтық (цифрлық технологияны қолданудағы теңсіздік) мектептер мен университеттерде, цифрлық технологияны қолданатын барлық салаларда, барлық әлеуметтік топтар мен қоғамның әртүрлі топтарының өкілдері арасында, кедей халықтың үлесі жоғары және төмен қауымдастықтарда байқалады. Жаңа цифрлық алшақтық әртүрлі әлеуметтік топтарға жататын балалардың мәдени және әлеуметтік мүмкіндіктеріне байланысты дәстүрлі білім беру теңсіздігін күшейтеді. Білім берудегі жаңа цифрлық алшақтықты жою, төменгі деңгейдегі цифрлық технологияларды пайдаланудан жоғарғы деңгейдегі цифрлық технологияны пайдалануға, трансформациялауға көшуді талап етіледі. Ол үшін «оқушылар – ақпараттық орта – оқытушылар» жүйесінде білім беру процесінің әрбір қатысушысына қол жетімді болатын өзара іс-қимылдардың спектрін едәуір кеңейту және сипатын өзгерту қажет.

Соңғы онжылдықта айтарлықтай күш - жігерге қарамастан, еліміздегі білім берудегі технологиялық цифрлық алшақтық әлі жойылған жоқ. Осыған байланысты білім беруді цифрлық трансформациялау стратегиясын төмендегідей көрестуге болады:

- цифрлық білім беру ортасын дамыту арқылы цифрлық технологияларға қолжетімділіктегі алшақтықты қысқарту (білім беру ұйымдарын АКТ құралдарымен жарақтандыру, оқу орындарын кең жолақты Интернетке қосу, жаһандық желіге сымсыз қол жеткізу аймақтарын кеңейту, желілік сервистерді дамыту, білім беру процесіне қатысушылардың қазіргі заманғы цифрлық құралдарды пайдалануын кеңейту);

- мазмұнды жаңарту жолымен цифрлық технологияны (жаңа цифрлық алшақтықты) пайдаланудағы алшақтықты еңсеру, оқу жұмысының әдістері мен ұйымдастыру нысандарын, білім беру бағдарламаларын әзірлеу және нәтижелі цифрлық оқу-әдістемелік материалдарды практикаға енгізу және оқу процесін дербестендірілген әрі нәтижеге бағдарланған ұйымдастыруға көшу.

Негізгі бөлім

Біздің елімізде педагогикалық білім беруді жаңғырту педагогикалық әлеуетті дамытуды, педагог мамандығының мәртебесін арттыруды көздейді. «Қазақстан Республикасының Білім мен ғылымды дамытудың 2020-2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасында» еліміздің педагогикалық

әлеуетін дамыту саласындағы проблемаларды шешу жөніндегі шаралар көзделген, онда басым міндеттердің бірі – өңірлер, оқу орындары, білім алушылар, қалалық және ауылдық мектептер арасында білім сапасындағы алшақтықты қысқарту болып табылады [4]. Осыған байланысты педагогикалық білім беруде өсудің жаңа нүктелері белгіленуге тиіс. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың жолдауында қазақстандық білім беру мәселелері белгіленген: «Қалалық және ауылдық мектептер арасында орта білім сапасындағы алшақтық өсіп барады. Негізгі мәселе – ауылдық жерлердегі білікті педагог кадрлардың тапшылығы» [5].

Қазақстан Республикасында педагог мәртебесі ерекше танылады, бұл кәсіптік қызметті жүзеге асыру үшін жағдайлар туғызуды қамтамасыз етеді. «Педагог мәртебесі туралы» Заң [6] ауылдық педагогтар үшін әлеуметтік кепілдіктер мен жеңілдіктерді қарастырады. Белгілі болғандай, заң жобасының нормалары білім берудің барлық деңгейлеріндегі педагог қызметкерлердің: мектепке дейінгі, орта, техникалық және кәсіптік, орта білімнен кейінгі білім беру, мамандандырылған, арнайы білім беру, жетім балалар мен ата-анасының қамқорлығынсыз қалған балаларға арналған білім беру, балаларға арналған қосымша білім берудегі қызметіне қолданылады.

Педагогикалық кадрларға ерекше қажеттілік ауылдық жерлерде артып отыр, қазіргі уақытта еңбек нарығында қалалық жалпы білім беретін мектептерде де жетіспейтін орыс тілі мен әдебиеті мұғалімдері неғұрлым үлкен сұранысқа ие болып отыр. Мамандардың мұндай тапшылығы орыс тілі мен әдебиеті мұғалімдерін дайындаудағы көпжылдық «тоқырау» салдарынан болды, бұл қалыптасқан әлеуметтік факторларға байланысты түсіндіріледі.

Әлеуметтік және экономикалық даму үшін өз салдарының маңыздылығына байланысты елдік және еларалық деңгейлерде цифрлық алшақтықты күшейту мәселесін он жылдан астам уақыттан бері жаһандық даму мақсаттарын ұстанатын және білім қоғамын қалыптастыруға ықпал ететін жетекші халықаралық ұйымдар мен институттар әзірлеп келеді.

Жаһандық цифрлық алшақтықты еңсерудің әлемдік тәжірибесіне сәйкес саяси күш-жігер мен қабылданып жатқан шаралар нәтижелерінің тиімділігі мен пәрменділігі билік органдарын, халықаралық ұйымдарды, азаматтық қоғам институттарын, жұртшылықты және экономиканың жеке секторын қоса алғанда, барлық мүдделі тараптардың тығыз ынтымақтастығы мен күш-жігерін біріктіру арқылы қол жеткізуге болады.

Мүмкін, цифрлық алшақтықты зерттеу мен талдаудағы басты қиындық – «ақпараттық-коммуникациялық технологияларға қол жеткізу» ұғымының көп өлшемділігі. Қазіргі уақытта көптеген ғалымдар мен мамандар цифрлық алшақтықты тек компьютерге және Интернетке қатынау мүмкіндігін айтады. Сонымен қатар, оған сәйкес цифрлық алшақтық барлық дербес компьютері немесе басқа цифрлық құрылғысы жоқ, сондай-ақ Интернетке шығудың («материалдық кедергі» деп аталатын) салдары болуы мүмкін: цифрлық технологияларға біркелкі емес қол жеткізу себептерінің тұтас кешенін ескеру қажет, оның ішінде компьютерлермен жұмыс істеудің қарапайым тәжірибесінің болмауы, оларға қызығушылықтың болмауы, қорқыныш, білімнің жетіспеушілігі (цифрлық технологиялар саласында, мысалы, дағдылардың болмауы); сондай - ақ «контенттік кедергі» (адам Интернет желісінде орналастырылған ақпаратты өзі үшін қызықты деп санамаса).

Жоғарыда келтірілген мәліметтерді ескере отырып, цифрлық алшақтыққа әсер ететін мынадай факторларды бөліп көрсетеміз: экономикалық, әлеуметтік, техникалық, инфрақұрылымдық, тілдік фактор, сондай-ақ цифрлық технологиялар саласындағы білім мен дағды факторы [7-9].

Экономикалық факторлар, ең алдымен, ұлттық табыс деңгейіне және жан басына шаққандағы табысқа байланысты әлемнің өңірлері бойынша және ел ішінде цифрлық технологияларға қолжетімділіктің алшақтығын білдіреді.

Техникалық факторлар – бұл интернет қолданушыларын әртүрлі белгілер бойынша «ұйымдастыруға» арналған және цифрлық алшақтықты күшейту үшін қолдануға болатын жасанды кедергілер.

Тілдік фактордың маңыздылығы ақпарат пен білімді берудің негізі болып табылатын тіл болып табылады. Сондықтан Интернет желісінде ана тіліңізді пайдалану мүмкіндігі көп жағдайда жаңа білімге қол жеткізу деңгейін анықтайды. Интернет желісі әртүрлі тілдерде ақпарат пен білім алмасу үшін іс жүзінде шексіз мүмкіндіктердің негізін қалады. Бүгінгі таңда әр адам мазмұн жасай алады, оны әлемнің басқа елдерімен бөлісе алады және кері байланыс ала алады.

Цифрлық технологиялар саласындағы білім мен дағды факторы. Цифрлық технологиялар еңбек өнімділігін арттырады және адамдардың жалпы әл-ауқатын арттырады. Сонымен қатар, көптеген ғалымдардың пікірінше, цифрлық технологиялар мен интернеттің дамуы қоғамдағы алшақтықтың

артуының жанама себебі болуы мүмкін. Цифрлық алшақтықтың прогрессивті дамуының, цифрлық алшақтық халықтың өмір сүру сапасын ескере отырып, білім беру мүмкіндіктерінің сапасымен анықталатын Интернетке қол жетімділіктің сараланған мүмкіндіктері ретінде, ал цифрлық алшақтық ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың біркелкі бөлінбеуінің және техникалық жабдықтардың жеткіліксіздігінің нәтижесі секілді бірнеше теориялары бар. ЮНЕСКО цифрлық алшақтықты төмендетудің төрт әдісін ұсынады:

- ақпаратқа жалпыға бірдей қол жеткізу;
- сөз бостандығы;
- мәдени және тілдік әртүрлілік;
- қоғамның барлық топтары үшін білім беру.

Цифрлық алшақтық тіршілік - тынысының экономикалық және саяси жағдайларын дамыту үшін құқықтық және экономикалық жағдайларды жетілдіру; компьютерлік техниканы, байланыс желілерін, деректер беру желілері мен арналарын қоса алғанда, инфрақұрылымды жетілдіру; халықтың білім деңгейін, сондай-ақ компьютерлік сауаттылықты айқындайтын адами элеуетті дамыту үшін талап етіледі.

Цифрлық технологиялар тұтас білім беру процесінің ажырамас бөлігі болып табылады және оның тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Ақпараттық технологиялардың даму ерекшеліктері оларды күнделікті өмірде де, білім беруде де және өмірдің көптеген басқа салаларында да қолдануда үлкен әлеуетті білдіреді. Білім беруді цифрландыру жағдайында ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) құралдарымен техникалық жарактандыру ғана емес, сондай-ақ толыққанды цифрлық білім беру ресурстарының (ЦБР) болуы да маңызды. Цифрлық алшақтықты жою білім беруді дамытпай мүмкін емес. Сауатсыздықты еңсеру және халықты ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану дағдыларына үйрету, компьютерлік сауаттылыққа үйрету цифрлық алшақтықты еңсеру жолындағы маңызды шаралар болып табылады. Сондай-ақ қазіргі заманғы цифрлық технологияларды пайдалану салдарынан туындайтын мүмкіндіктер туралы халықтың хабардарлығын арттыру қажет.

Қазіргі білім беру процесін электронды оқу материалдарымен сапалы қамтамасыз етудің елестету қиын. Соңғы уақытта олардың түрлік құрамы электрондық оқу құралдары, компьютерлік модельдеу құралдары, Интернет-сайттар, тренажерлар, оқыту бағдарламалары және басқа да білім беру ресурстары сияқты жаңа педагогикалық бағдарламалық құралдармен толықтырылды [10].

Оқу ақпаратын цифрлық түрде ұсыну арқылы оқушыға жан-жақты әсер етіледі, оқушының оқуға деген қызығушылығы артады, оның білім шеңбері кеңейеді, оқыту сапасы артады, сонымен қатар мұғалім мен оқушы арасындағы кері байланысты жүзеге асыру жеңілдетіледі [11-14].

Цифрлық алшақтықты жоюдың бір құралы – цифрлық білім беру ресурстарын дамыту болып табылады. Цифрлық білім беру ресурстарын оқытуда қолдану сабақтың мүмкіндіктерін кеңейтуге, сонымен қатар оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Цифрлық түрде ұсынылған оқу материалдары оларды сабақтың әртүрлі кезеңдерінде қиындықсыз пайдалануға және сабақтың қойылған міндеттерін шешуге мүмкіндік береді:

- білімді өзектендіру кезеңі - электрондық тесттер, электрондық конструкторлар;
- жаңа материалды түсіндіру кезеңі - электронды оқулықтар, энциклопедиялар, анықтамалықтар, мультимедиялық презентациялар, оқу бейнефильмдер;
- білім, білік, дағдыны бекіту және жетілдіруге арналған электрондық тестілер, электрондық тренажерларды, оқыту ортасын, мультимедиялық презентациялар, кроссвордтар [11, 15].

Цифрлық білім беру ресурстары оқу ақпаратының белгілі бір бөліктерін беруге, орындауға көмектеседі, сонымен қатар оқушылардың танымдық қызығушылықтарын ынталандырады, оқу нәтижелерін жедел бақылауға және өзін-өзі бақылауға мүмкіндік береді.

Цифрлық білім беру ресурстарының мақсаты - ақпараттық қоғамдағы оқушылардың ақыл-ой қабілеттерін нығайту және білім беру жүйесінің барлық деңгейлерінде оқыту сапасын арттыру.

Цифрлық білім беру ресурстарының идеясы ақпаратты ұсынудың әртүрлі тәсілдерін қолдану, бағдарламалық жасақтамаға мәтіндерді, жоғары сапалы графика мен анимацияларды енгізу бағдарламалық өнімді ақпаратқа бай және қабылдауға ыңғайлы етуге, ақпаратты қабылдаудың әртүрлі арналарына бір уақытта әсер ету қабілетінің арқасында қуатты дидактикалық құралға айналуға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Цифрлық алшақтықты жеңудің маңызды шарты - мұғалімдердің дайындығын өзгерту. Дамыған елдерде мұғалімдерді даярлаудың барлық негізгі бағдарламаларына ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бойынша міндетті курстар енгізілген. Мұғалімдер компьютерлік сауаттылықтың базалық деңгейін меңгеруі, оқу процесінде компьютерлер мен бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана білуі тиіс. Кәсіби қайта даярлауды жүзеге асыру кезінде ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану, барлық оқытушылардың цифрлық сауаттылығына жәрдемдесу, жоғары сапалы білім аруды жеңілдететін ашық білім беру ресурстарының таралуына ықпал ету қажет.

Зерттеу нәтижесінде цифрлық алшақтық мәселесі бойынша талдаулар жасалып, қоғамды бұл мәселенің өзекті екені дәлелденді. Сонымен қатар, білім беру жүйесінде осы мәселені шешудің жолдары қарастырылды.

Қорты келгенде, цифрлық алшақтықты жеңудегі маңызды кедергі - бұл ақпараттық сауаттылық бойынша білім деңгейінің төмендігі, бұл олардың тұрғындарына өмірдің әртүрлі салаларында ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану нәтижесінде туындайтын артықшылықтарды толық пайдалануға мүмкіндік бермейді. Бір таңқаларлығы, қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларға негізделген жаңа білім беру технологияларын қолдану осы елдердегі цифрлық алшақтықты азайтуға ықпал етуі мүмкін. Егер бастапқы сауаттылықты оқыту және ХХІ ғасырда негізінен дәстүрлі түрде оқытушы мен оқушының тікелей өзара әрекеттесуімен жүрсе, онда барлық басқа дағдыларды заманауи білім беру технологияларын қолдана отырып тиімді қалыптастыруға болады. Оларға қашықтықтан, электронды және аралас оқыту, бейімделген технологиялар мен чат-боттарды қолдану, медиатизация және білім беруді геймификациялау жатады. Бұл технологияларды қолдану шалғай аймақтарда тұратын немесе жасына байланысты немесе денсаулығының басқа да ерекшеліктері бар, сапалы білім алуға мүмкіндік бермейтін адамдар үшін білімге қол жетімділікті едәуір кеңейтеді. Өз кезегінде, бұл ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың саясатта, экономикада, әлеуметтік салада қолданыла бастауына ықпал ететін халықтың білім деңгейінің жоғарылауы, бұл елдер мен аймақтардың дамуына серпін береді.

Мақала АР 08855826 «Қашықтан оқыту форматында білім беру үдерісін ұйымдастыруда қазақстандық орыс тілі мен әдебиеті ауылдық мұғалімдеріне әдістемелік қолдау көрсетуде цифрлық контент құру» тақырыбына сәйкес «Ғылымды дамыту» 217 бюджеттік бағдарламасы, ҚР БҒМ Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» 102 кіші бағдарламасы бойынша жоба аясында орындалды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Рамис Думена Н. Цифровой разрыв / Н. Рамис Джумена // Финансы и развитие: Ежеквартальный журнал Международного валютного фонда. – 2016. – № 3. – С. 18–19

2 Бухтиярова И.Н. Информационные технологии как фактор развития современного инклюзивного общества / И.Н. Бухтиярова // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2015. – № 6. – С. 118–121.

3 Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций: Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 18 сентября 2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/55/2&referer=http://www.un.org/en/events/pastevents/millennium_summit.shtml&Lang=R (дата обращения: 10.03.2022).

4 Қазақстан Республикасында білім беруді және ғылымды дамытудың 2020-2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасы <https://www.kaznpu.kz/kz/2376/notice/>

5 «Сындарлы қоғамдық диалог-Қазақстанның тұрақтылығы мен өркендеуінің негізі» //Мемлекет Басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың 2012 жылғы 2 қыркүйектегі Қазақстан халқына Жолдауы https://www.akorda.kz/kz/events/akorda_news/akorda_other_events/memleket-basshysynyn-2019-zhylgy-2-kyrkuiektegi-syndarly-kogamdyk-dialog-kazakstannyn-turaktylygy-men-orkendeuinin-negizi-atty-kazakstan-hal

6 Педагог мәртебесі туралы заң https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37375928

7 Панюкова С.В. Цифровые инструменты и сервисы в работе педагога. Учебно-методическое пособие. – М: Изд-во «Про-Пресс», 2020. – 33 с.

8 Digital Kazakhstan – официальный сайт Программа «Цифровой Казахстан на 2017-2020 года» [Электронный ресурс]: - URL: <https://digitalkz.kz/> (дата обращения: : 15.04.2022)

9 Суворова Т.Н. Актуальные направления подготовки учителей к проектированию и использованию электронных образовательных ресурсов. – М.: Изд-во ООО «Образование и информатика», 2016. – 222 с.

10 Уваров А.Ю. Цифровая трансформация и сценарии развития общего образования // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 108 с.

11 Лысак И.В. Новые образовательные технологии как средство преодоления цифрового разрыва // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 7. – С. 129-135; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36743> (дата обращения: 15.04.2022).

12 Цифрлық білім беру ресурстарын оқу үдерісінде қолдану бойынша әдістемелік ұсынымдар, – Астана: Ы. Алтынсарин атындағы Ұлттық білім академиясы, 2015. – 32 б.

13 Warschauer M. (2012) *The Digital Divide and Social Inclusion* // *Americas Quarterly*. Vol. 6. No. 2. P. 131.

14 Балыкбаев Т.О., Бидайбеков Е.Ы. О подготовке педагогов в условиях цифровизации образования. // Высшая школа Казахстана. – Астана, 2018. – №3 (23). – С.39-42.

15 Goldin, C. *The origins of technology-skill complementarity* [Electronic resource] / C. Goldin, L. Katz // *The Quart. J. of Economics*.- 1998. - Vol. 113, № 3. - P. 693-732.

References:

1 Ramis Dumena N. (2016) *Sufrovoi razryv [The digital divide]*. N. Ramis Djumena. *Finansy i razvitie: Ekvartalnyi jurnal Mejdunarodnogo valutnogo fonda*. № 3.18–19. (In Russian)

2 Buhtiarova I.N. (2015) *Informacionnye tehnologii kak factor razvitiia sovremennogo inkluzivnogo obshectva [Information technologies as a factor in the development of a modern inclusive society]*. I.N. Byhtiarova. *Gumanitarnye, sosialno-economichekские i obshestvennye nauki*. № 6. 118–121. (In Russian)

3 Deklarasia tysiacheletia Organizasii Obedinenuh Nasii: Revolusia, priniataia Generalnoi Assambleei 18 sentiabria 2000 [Elektronnyi resurs]. – Rejim dostupa: http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/55/2&referer=http://www.un.org/en/events/pastevents/millennium_summit.shtml&Lang=R (date of application: 10.03.2022). (In Russian)

4 Kazakhstan Respublikasynda bilim berudi zhane gilymdy damytudyn 2020-2025 zhyldarga arналган мемлекеттік бағдарламасы [State program for the development of education and science in the Republic of Kazakhstan for 2020-2025]. <https://www.kaznpu.kz/kz/2376/notice/> (In Kazakh)

5 «Syndarly kogamdyk dialog-Kazakstannyn turaktylygy men orkendeuinin negizi» ["Critical public dialogue is the basis of stability and prosperity of Kazakhstan"]. Memleket Bashysy Kasym-Jomart Tokaevtyn 2012 zhylygy 2 kyrkuyektegi Kazakstan khalkyna Zholdauy.https://www.akorda.kz/kz/events/akorda_news/akorda_other_events/memleket-bashysynyn-2019-zhylygy-2-kyrkuiektegi-syndarly-kogamdyk-dialog-kazakstannyn-turaktylygy-men-orkendeuinin-negizi-atty-kazakstan-hal. (In Kazakh)

6 Pedagog martebesi turaly zan [Law on the status of teachers]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37375928. (In Kazakh)

7 Panyukova S.V. *Sifrovye instrumenty i cervisy v rabote pedagoga. Ychebno-metodicheskoe posobie*. - M.: Izd-vo «Pro-Press», 2020. – 33 с.

8 Digital Kazakhstan- ofisialnyi sait [Digital Kazakhstan-official site]. Programma “Sifrovai Kazakstan na 2017-2020 god” [Elektronnyi resurs]: - URL: <https://digital.kz/> (data obrasheniya: : 15.04.2022). (In Russian)

9 Suvorova T.N. (2016) *Aktualnye napravleniia podgotovki ychitelei k proektirovaniu i ispolzovaniu eelektronnykh obrazovatelnykh resursav [Actual directions of teacher training for the design and use of electronic educational resources]*. M.: Izd-vo OOO «Obrazovanie i Informatica», 222. (In Russian)

10 Uvarov A.Yu. (2020) *Sifrovai transformasia i ssenarii razvitiia obshevo obrazovaniia [Digital transformation and scenarios for the development of general education]*. Nasionalnye issledovatel'skii universitet “Vyshaia shkola eekonomiki”, Institut obrazovaniia. M.: NIY VShEE, 108. (In Russian)

11 Lysak I.B. (2017) *Novye obrazovatelnye tehnologii kak sredstva preodoleniia sifrovogo razryva [New educational technologies as a means of overcoming the digital divide]*. *Sovremennye naykoemkie tehnologii*. № 7. 129-135; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36743> (дата обращения: 15.04.2022). (In Russian)

12 Sandyk bilim beru resurstaryn oku uderisinde qoldanu boiynsha adictemelik usynyndar [Methodological recommendations on the use of digital educational resources in the educational process], Astana, Y.Altynsarin atyndagy Ultyk bilim akademiasy, 2015. 32. (In Kazakh)

13 Warschauer M. (2012) *The Digital Divide and Social Inclusion* // *Americas Quarterly*. Vol. 6. No. 2. P. 131.

14 Balykbaev T.O., Bidaibekov E.Y. (2018) *O podgotovke pedagogov v usloviiah sifrovizatsii obrazovaniia [On the training of teachers in the context of digitalization of education]*. Vyshaia shkola Kazakhstan.Astana, №3 (23). 39-42.

15 Goldin, C. *The origins of technology-skill complementarity* [Electronic resource] / C. Goldin, L. Katz // *The Quart. J. of Economics*.- 1998.- Vol. 113, № 3. P. 693-732.

М. С. Темирханова^{1*}, Г. М. Абильдинова¹, Ж.С. Кажиақпарова²

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г.Нур-Султан, Казахстан

²Западно Казахстанский инновационно - технологический университет, г.Уральск, Казахстан

*e-mail: meruyert.sailauovna@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОПЫТ УЧИТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

Из-за пандемии, вызванной распространением вируса COVID-19, образовательная система страны перетерпел значительные изменения. Участники образовательного процесса столкнулись с проблемами и получили новый опыт. Актуальность исследования - нововведения в образовании внедренные из-за пандемии выявили новые проблемы и решения. В начале дистанционного обучения учителям было сложно усвоить и внедрять соответствующие методы дистанционному формату обучения из-за недостаточной помощи в процессе обучения, подготовки или ресурсов. Цель исследования основан на теоретическом изучении концепции дистанционного обучения и исследованиях, а также выяснение условия учителей во время дистанционного обучения, чтобы описать опыт школы Казахстана во время карантина. Методология исследования основана на опросе учителей и анализе. Исследование освещает проблемы в дистанционном формате обучения и вносит вклад в дальнейшие исследования. Анализируя результаты исследования и опроса, пришли к выводу, что учителя испытывали психоэмоциональную и физиологическую нагрузку из-за дистанционного обучения. Результат показал, что содержание и форма дистанционного обучения являются важным аспектом, методическая рекомендация к организации дистанционного обучения требует пересмотра.

Ключевые слова: дистанционное обучение, значение дистанционного обучения, дистанционный формат, процесс дистанционного обучения, проблемы дистанционного обучения, опыт учителя.

Аңдатпа

М.С. Темирханова¹, Г.М. Абильдинова¹, Ж.С.Кажиақпарова²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

² Батыс Қазақстан инновациялық - технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан

ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУ КЕЗІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖӘНЕ МҰҒАЛІМДЕРДІҢ ТӘЖІРИБЕСІ

COVID-19 вирусының таралуынан туындаған пандемияға байланысты елдің білім беру жүйесі айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. Білім беру процесіне қатысушылар қиындықтарға тап болып, жаңа тәжірибе алды. Зерттеудің өзектілігі-пандемияға байланысты енгізілген білім берудегі инновациялар жаңа проблемалар мен шешімдерді анықтады. Қашықтықтан оқытудың басында мұғалімдерге оқу, дайындық немесе ресурстар процесінде көмек жеткіліксіз болғандықтан қашықтықтан оқыту форматына сәйкес әдістерді меңгеру және енгізу қиынға соқты. Зерттеу мақсаты қашықтықтан оқыту тұжырымдамасын теориялық зерттеуге және карантин кезіндегі Қазақстан мектебінің тәжірибесін сипаттау үшін қашықтықтан оқыту кезінде мұғалімдердің жай-күйін анықтау бойынша тәжірибеге негізделген. Зерттеу әдістемесі мұғалімдердің сауалнамасы мен талдауына негізделген. Зерттеу қашықтықтан оқыту форматындағы мәселелерді анықтайды және одан әрі зерттеуге айтарлықтай үлес қосады. Зерттеу және сауалнама нәтижелерін талдай отырып, мұғалімдер қашықтықтан оқытуға байланысты психоэмоционалды және физиологиялық тыс жүктемесін бастан кешірді деген қорытындыға келдік. Нәтижесі қашықтықтан оқытудың мазмұны мен формасы маңызды екенін көрсетті, қашықтықтан оқытуды ұйымдастыруға әдістемелік ұсыныс қайта қарауды талап етіледі.

Түйін сөздер: қашықтықтан оқыту, қашықтықтан оқыту мағынасы, қашықтықтан оқыту форматы, қашықтықтан оқыту процесі, қашықтықтан оқыту проблемалары, мұғалімнің тәжірибесі.

Abstract

INFORMATION SUPPORT AND TEACHERS' EXPERIENCE DURING DISTANCE LEARNING

Temirkhanova M.S.^{1}, Abildinova G.M.¹, Kazhiakparova Zh.S.²*

¹ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

² *West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan*

Due to the pandemic caused by the spread of the COVID-19 virus, the country's educational system has undergone significant changes. The participants of the educational process faced problems and completely new experiences. Relevance of the research - innovations in education introduced due to the pandemic have revealed new problems and solutions. At the beginning of distance learning, it was difficult for teachers to learn and implement appropriate methods for this format of learning due to insufficient assistance in the learning process, training or resources. The purpose of the research, based on the theoretical study of the meaning of distance learning and research, as well as clarifying the condition of teachers during distance learning, is to describe the experience of schools in Kazakhstan during quarantine. The methodology of the study is based on a survey of teachers and analysis. The research highlights the problems in the distance learning format and makes a significant contribution to further research. Analyzing the results of the research and the survey, it was concluded that teachers experienced psycho-emotional and physiological stress due to distance learning. The result showed that the content and form of distance learning is important, the methodological recommendation for the organization of distance learning requires revision.

Keywords: distance learning, meaning of distance learning, distance format, the process of distance learning, the problems of distance learning, teacher experience.

Введение

В марте 2020 года Всемирная организация здравоохранения объявила, что распространение коронавирусной болезни COVID-19 достигло масштабов глобальной пандемии (World Health Organization, 2020), в результате в Казахстане было объявлено чрезвычайное положение (Указ Президента Республики Казахстан от 29 апреля 2020 года № 310), в Казахстане организация учебного процесса претерпела очень существенные изменения – дистанционное обучение стало неотъемлемой частью учебного процесса. 8 апреля 2021 года в законе об образовании Казахстана были внесены поправки, где статья 1 пункт 38 была дополнена определением: “дистанционное обучение – обучение, осуществляемое при взаимодействии педагога и обучающихся на расстоянии, в том числе с применением информационно-коммуникационных технологий и телекоммуникационных средств;”, также были внесены методические рекомендации по организации дистанционного обучения (Приказ Министра образования и науки Республики Казахстан от 8 апреля 2020 года № 135 «О дополнительных мерах»).

Концептуальная основа. Концептуальная основа процесса дистанционного обучения имеет некоторые положительные моменты, такие как: отсутствие учащихся в школе по уважительным причинам; невозможность посещения школы из-за места жительства (далеко от школы); из-за нехватки учителей, например, один учитель может обучать нескольких учеников из разных школ. Благодаря внедрению все масштабного дистанционного обучения во всем мире из-за пандемии при возникновении некоторых ситуации, которые могут прервать процесс обучения, такие как, чрезвычайные ситуации в городе или в стране, природные аномалии или суровые погоды во время учебного года уроки проводятся дистанционно асинхронно или синхронно используя имеющиеся технологии и навыки. Однако в то же время многое зависит от мотивации ученика, от его способности анализировать информацию и от окружающей среды [1]. Наряду с дистанционным обучением общественный спрос на компетентных учителей с разносторонними подходами также растет. Общество ожидает, что учителя будут обладать глубокой и широкой осведомленностью о процессе преподавания и об отношениях к обучению учащихся, поскольку это влияет на обучение учеников. Таким образом, учителя будут активными, отзывчивыми и мудрыми, они сделают образование центральным и будут способствовать вовлечению и ответственности учеников, будут эффективно реагировать на учеников с различными потребностями и происхождениями, а также способствовать чувствительности и социальному равенству, обеспечивать непрерывное участие учеников и обратную связь [2]. Более того, ученикам необходимо развивать любознательность, воображение, устойчивость и саморегуляцию; они должны уважать и ценить идеи, взгляды и ценности других; и им придется иметь дело с неудачами и отказами и двигаться вперед после того, как они столкнулись с некоторыми проблемами [3]. Современным детям приходится учиться жить в динамичном и изменчивом мире, который требует изменения привычной обстановки, поэтому важно приобретать базовые вещи уже в школьной среде, где процессом обучения и преподавания руководит

мудрый и умелый учитель. Кроме того, необходимо применять технологии для получения компетенций, необходимых для экономического, социального, экологического, финансового и личностного роста и прогресса.

Значение термина “дистанционное обучение”. Дистанционное обучение имеет различные концепции и теории, истоки которых можно найти во второй половине 20-го и 21-го века. На основе теоретических исследований было проанализировано историческое развитие концепции дистанционного обучения с 1966 по 2020 год:

- плановая и систематическая деятельность, которая включает отбор учебных материалов, дидактическую подготовку и проектирование, а также мониторинг и поддержку обучения учащихся, и достигает этого, применяя по крайней мере одну соответствующую техническую среду, чтобы устранить физическое расстояние между учеником и учителем [4].

- прямое общение и взаимодействие между учителями и учениками, где взаимодействие является средством сотрудничества – ученику предоставляется свобода выбора времени и места учебы независимо от способностей и ресурсов ученика [5].

- способ, как обеспечить обучение человека, который занимается запланированными исследованиями с помощью электронных средств, но находится в другом месте и в другое время. [6].

- может быть связано с большим количеством различных программ, которые обслуживают различные аудитории, используют широкий спектр средств массовой информации и, наконец, быстрые изменения технологий бросают вызов традиционному способу определения электронного обучения [7].

- целенаправленно организованный и согласованный во времени и пространстве процесс взаимодействия обучающихся и обучающихся между собой и со средствами обучения с использованием педагогических, а также информационных и коммуникационных технологий [8].

Развитие дистанционного формата обучения. Многие исследователи пытаются развить дистанционное обучение предлагая обновлённое определение дистанционного обучения, так как сложность ландшафта дистанционного обучения продолжает расти и меняться. Развитие данного термина и вида обучение на сегодняшний день востребована благодаря тому, что несколько авторов в своих работах описывали различные способы понимания и практики дистанционного обучения. Например, в своей статье Кигана анализировал четыре популярных ранних определения дистанционного обучения, чтобы создать «всеобъемлющее определение» [9], а Гаррисон и Шейл анализировали предыдущие попытки Кигана дать определение дистанционному образованию и выступают за менее ограничительное определение, учитывающее достижения в области коммуникационных технологий [10]. Б.О. Баркер, А.Г. Фрисби и К.Р. Патрик, основываясь на предыдущей работе следующих авторов - Киган, Гаррисон и Шейл. Они в своих статьях критиковали предыдущие определения как недостаточно широкие, а концепцию дистанционного образования как слишком узкую в рамках заочного обучения. Они утверждали, что определение дистанционного образования должно различать заочное дистанционное образование и то, что они называют «телекоммуникационным» дистанционным образованием [11], также в одном из своих работ Харасима представляет краткую историю онлайн обучения, где подчеркивает произошедший сдвиг парадигмы, в результате которого больше внимания уделяется сетевому обучению, чем самостоятельному обучению [12].

В связи с развитием онлайн обучения в Соединенных Штатах первая программа онлайн обучения K-12 была разработана частной школой Laurel Springs School, которая начала свою онлайн программу примерно в 1991 году [13]. Краткий обзор, написанный рядом лидеров онлайн обучения K-12, посвящен определению ключевых аспектов онлайн обучения. Предоставляет хороший обзор различных элементов онлайн обучения, которые важно учитывать при определении дистанционного обучения [14], также была опубликована статья, где утверждается, что онлайн обучение разнообразно и проявляется по-разному в разных контекстах [15]. Например, онлайн обучение часто выглядит по-разному в K-12, высшем образовании и корпоративном/промышленном секторе. Они разрабатывают типологию, которую могут использовать заинтересованные учителя учебных заведений и исследователи, чтобы лучше описать тип онлайн обучения, в изучении или разработке. [15].

Проанализировав историческое развитие концепции дистанционного обучения за период с 1966 по 2021 год, следует отметить, что процесс дистанционного обучения, который является систематическим, целенаправленным и в то же время индивидуальным, предоставляет учащимся возможность получить определённые знания, навыки и методическую поддержку независимо от

местонахождения ученика, в основном зависит от профессиональной компетентности преподавателя, цифровых навыков ученика, вид обучения (практические и лабораторные задачи) и доступности информационных технологий. Несомненно, со временем развивается содержательная основа концепции дистанционного обучения и форм процесса дистанционного обучения. Например, в начале 21 века Катрина Мейер (2002) в своей работе “Качество в дистанционном образовании: Фокус на онлайн обучение” упоминает, что не существует такого универсального способа, который бы говорил нам, как описать качество образования и процесс дистанционного обучения, поскольку в каждом термине есть другие очень сложные термины. Эти термины зависят от различных факторов, например, технологий, описания процесса обучения, учеников, дизайна обучения и т.д. В свою очередь, после марта 2020 года, когда коронавирусная болезнь достигла масштабов глобальной пандемии, дистанционное обучение определённым образом эволюционировало и стало неотъемлемой частью повседневного процесса обучения.

Опыт преподавателя в дистанционном формате обучения. Как уже упоминалось выше, эффективная организация дистанционного обучения, в значительной мере зависит от профессионального мастерства преподавателя, цифровой компетентности и доступности информационных технологий. Конечно, существуют и другие влияющие факторы, которые во многом определяют ход процессов дистанционного обучения и его эффективную организацию.

Факторы, которые могут повлиять на процесс дистанционного обучения:

1. технические моменты и цифровые навыки;
2. организация учебного процесса;
3. обеспечение сотрудничества с учениками и коллегами;
4. соблюдение прав педагогов

Во время дистанционного обучения нужно учитывать содержание материала и возможность проведения лабораторных и практических работ удалённо. К сожалению, очень мало разработано и внедрено виртуальные или дополнительные практические и лабораторные работы по нескольким предметам, а именно, физика, химия, биология и другие. Готовые продукты по AR и VR помогли бы проводить дистанционное и традиционное обучение в будущем при любых обстоятельствах. На сегодняшний день компаниями разработаны много платформ и устройств, которые ориентированы на дистанционное и сменанное обучение, но учителя еще не имеют достаточно навыки медиа грамотности для использования во время уроков.

Результаты опроса, проведённого в рамках исследования международной школы, выделяют следующие проблемы дистанционного обучения:

- выбор наиболее подходящих цифровых инструментов для изучения контента, чтобы обеспечить, дистанционное обучение в условиях чрезвычайной ситуации в стране было выполнено лишь частично.
- только половина преподавателей имеют полный доступ ко всем необходимым системам информационных технологий, необходимым для удалённой работы.
- некоторые учащиеся недостаточно оснащены соответствующей скоростью подключения к Интернету и техническими средствами.
- только половина учащихся и их родителей придерживаются процедур, установленных учебным заведением при внедрении процесса дистанционного обучения.
- общение с учениками и их родителями затруднено – большинство учителей не получают никакой обратной связи от учеников и/или их родителей.
- требуются дополнительные временные ресурсы по сравнению с процессом очного обучения.
- значительно возрастает степень синдрома профессионального выгорания у педагогов
- отсутствие или низкий уровень навыков использования информационных технологии у некоторых учителей.

Цель исследования. Цель исследования, основанного на теоретическом изучении концепции дистанционного обучения и исследований, выяснении отношения учителей к дистанционному обучению, описать опыт дистанционного обучения в условиях COVID-19.

Метод исследования

Чтобы лучше понять рабочую среду учителей, а также выявить спектр текущих педагогических задач и проблем в процессе дистанционного обучения, проводилось исследование (опрос учителей) в одном из образовательных учебных заведений Нур-Султана.

В ходе опроса было задано 11 утверждений с применением шкалы Лайкерта и 1 вопрос. Структура опроса состоит из самооценки учителей: о полученной методической поддержке; о полученной психоэмоциональной поддержке; о поддержке со стороны учеников, родителей учеников и коллег; об условиях работы; об их благополучии. Опрос является анонимным, и было предложено заполнить его в электронном виде, используя онлайн платформу Google Form.

Участники. Средний возраст респондентов составляет 36 года, из них 80% женщины и 20% мужчины, средний трудовой педагогический стаж респондентов составляет 13 лет. Опрос был анонимным и электронным с использованием онлайн инструмента Google Form. Опрос был проведен в ноябре 2021 года, в исследовании приняли участие 55 из 79 или 70% всех учителей основной школы (в период дистанционного обучения), работающих в выбранном учебном заведении. Педагогический профиль респондентов очень широк – учителя различных предметов с 6 по 10 класс.

Анализ. В исследовании использовались проценты и графические представления при анализе собранных данных. Данные были сначала сгруппированы, а затем представлены в виде диаграмм.

Результаты исследования и дискуссия

Оценивая самооценку педагогов по полученной методической поддержке (рисунок 1), можно сделать вывод, что большинство учителей (73%) считают, что администрация школы оказывает методическую поддержку, тогда как на национальных уровнях наблюдалась негативная тенденция, а именно, в среднем 96% учителей не получали достаточно методической поддержки от государственных учреждений в процессе дистанционного обучения.

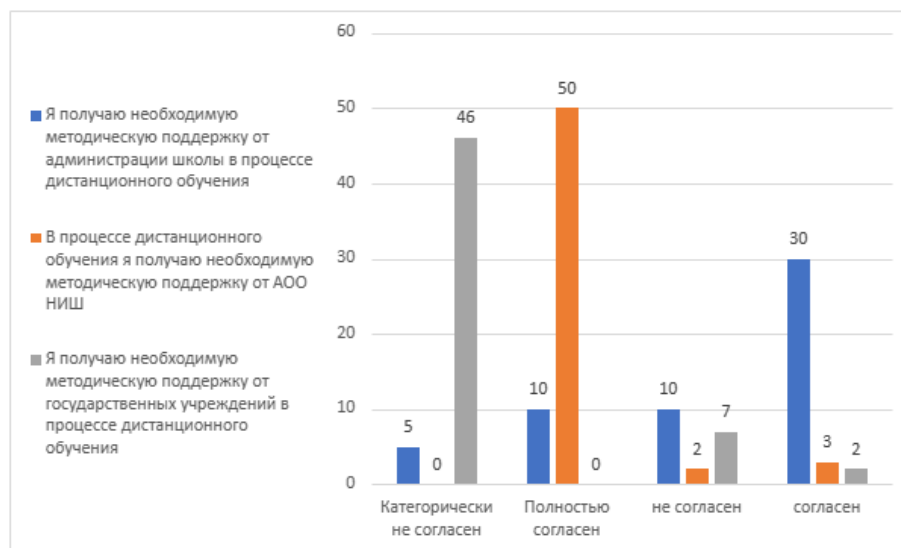


Рисунок 1. Самооценка преподавателей о полученной методической поддержке в процессе дистанционного обучения

Анализируя самооценку учителей по поводу полученной психоэмоциональной поддержки (Рисунок 2), следует сделать вывод, что меньше половины учителей (31 %) считают, что администрация школы не оказывает психоэмоциональную поддержку. В свою очередь, все респонденты (100 %) считают, что в процессе дистанционного обучения они не получили никакой психоэмоциональной поддержки от городского методического объединения и государственных учреждений. С положительной стороны, в среднем 72% учителей получают поддержку от родителей учеников и коллег (рисунок 3), в то время как следует отметить, что учителя получают больше поддержки от своих коллег (93%) и относительно меньше поддержки получают от учеников (33%). Поддержка, получаемая как от учащихся, так и от их родителей и коллег в сложных условиях труда, очень важна для содействия позитивному самочувствию учителей и учеников. Рассматривая условия работы преподавателей (рисунок 4), следует отметить несколько важных нюансов, а именно, все респонденты (100%) отметили, что в процессе дистанционного обучения произошло значительное увеличение рабочей нагрузки и что учителя устали, они чувствуют себя опустошенными, а также испытывают физическую и психологическую перегрузку в период дистанционного обучения.

Один из вопросов в опросе был: “В нынешнее время Вы бы хотели продолжить работу учителя?” 22 из 55 респондентов, или 40% учителей, ответили положительно на этот вопрос. Выявленная ситуация может привести педагогов к эмоциональному выгоранию, педагоги подвержены тревоге и депрессии в процессе дистанционного обучения.

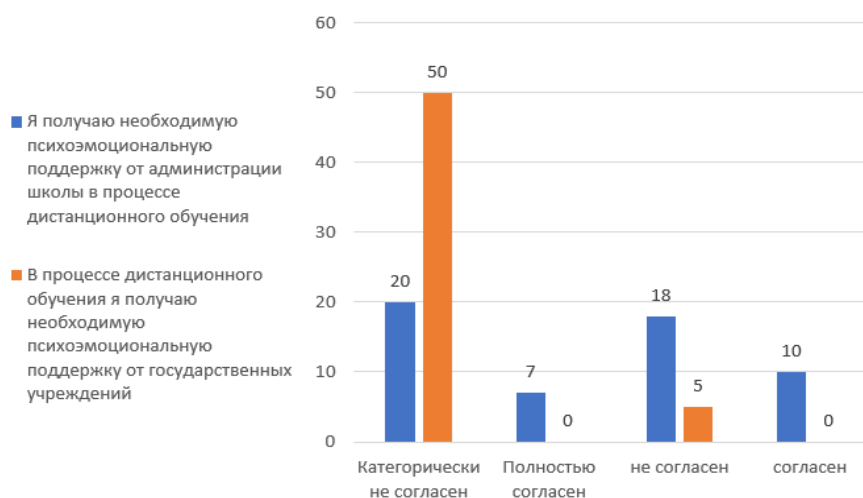


Рисунок 2. Самооценка преподавателями о полученной психэмоциональной поддержке в процессе дистанционного обучения

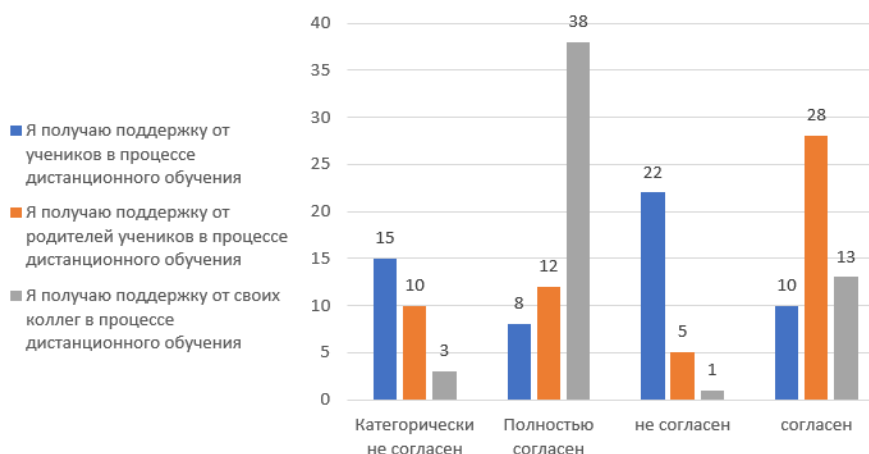


Рисунок 3. Самооценка учителей о полученной поддержке со стороны учащихся, родителей учащихся и их коллег в процессе дистанционного обучения.

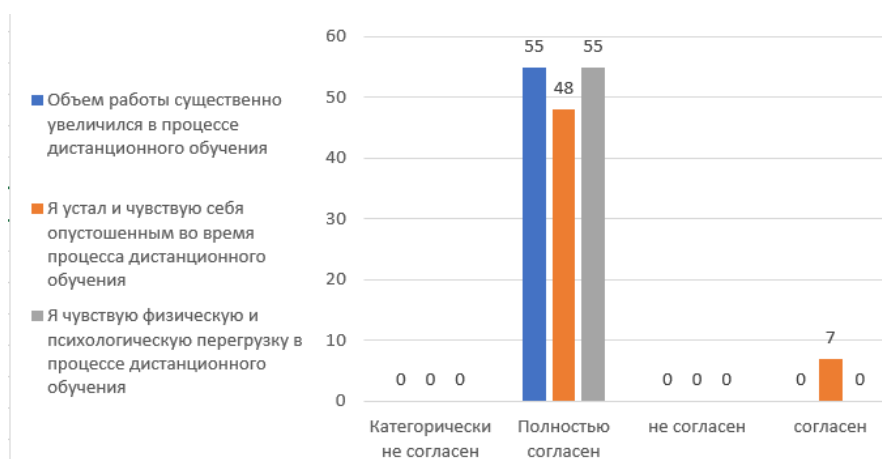


Рисунок 4. Самооценка условий работы и благополучия учителей в процессе дистанционного обучения

Анализируя результаты исследования, следует сделать вывод, что учителя во время первой пандемии имели дополнительные нагрузки из-за процесса дистанционного обучения, учителя испытывали психоэмоциональную и физиологическую перегрузку, более того, поддержка со стороны государственных учреждений, включая методическую и технологическую поддержку была недостаточна. Значительно возросла нагрузка на учителей и на родителей, в целом, ухудшились условия труда в связи с организацией удаленной работы по сравнению с очной педагогической работой - самооценка учителями своего благополучия критически низка. В результате учителя в большей степени подвержены тревоге и депрессии в процессе дистанционного обучения, что значительно увеличивает степень синдрома выгорания и ставит под угрозу дальнейший профессиональный потенциал учителей.

Подводя итог историческому развитию теоретической концепции дистанционного обучения в период с 1966 по 2021 год, следует отметить наиболее важные выявленные компоненты дистанционного обучения:

1. взаимное общение происходит с помощью технологии;
2. взаимодействие общения учителя и ученика;
3. автономия ученика и самостоятельное обучение;
4. отношение учеников и их родителей к процессу дистанционного обучения и участию в нем.

Процесс дистанционного обучения, который является систематическим, целенаправленным и в то же время индивидуальным, предоставляя учащимся возможность приобрести определенные знания, навыки и методическую поддержку независимо от местонахождения ученика, во многом зависит от профессиональной компетентности преподавателя, цифровых навыков ученика и доступности информационных технологий.

Результаты эмпирического исследования, после сопоставления результатов опроса, отражают следующую тенденцию: во время первой пандемии большинство учителей считали, что администрация школы оказывала методическую поддержку, в то время как на национальном уровне наблюдалась слабая поддержка, а именно, в среднем 96% учителей не получали необходимой методической поддержки от государственных учреждений в процессе дистанционного обучения; поддержка со стороны учеников, родителей учеников и коллег, в то же время следует отметить, что учителя получают больше поддержки от своих коллег и относительно меньше поддержки от учеников; учителя признают, что рабочая нагрузка значительно возросла в процессе дистанционного обучения и учителя чувствуют себя опустошенными, они также испытывали физическую и психологическую перегрузку в процессе дистанционного обучения; многие учителя оставили бы работу своего учителя, если бы была возможность.

Заключение

Дистанционное обучение является неотъемлемой частью системы образования. Однако важно уделять внимание как содержанию, так и форме дистанционного обучения, а также дифференциации и индивидуализации подходов к обучению. И учителя, и ученики, и их родители должны уметь адаптироваться к применению различных электронных средств массовой информации в качестве учебных пособий. В свою очередь, задачей педагога является разработка эффективных стратегий и подходов к процессу дистанционного обучения в соответствии со способностями и возможностями учащихся.

Для улучшения процесса дистанционного обучения важно предоставить учителям портативные рабочие места на компьютерах, соответствующие средства, а также предоставить учителям возможности для повышения их цифровой компетентности. В то же время необходимо пересмотреть единый подход и процедуру организации процесса дистанционного обучения в образовательном учреждении, четко определив этапы ответственности и действий, а также соблюдая основные условия организации учебного процесса: гибкость и независимость; адаптация учебной программы и учебного процесса в соответствии с потребностями и возрастом учащихся; сотрудничество и информация (преподаватели, учащиеся, родители и ответственные государственные учреждения); социально-эмоциональная и иная поддержка; предоставление – технологические и учебные ресурсы, дифференциация и индивидуализация процесса обучения.

References:

- 1 Rozvadský Gugová, Gabriela and Maťovčíková, Daniela. "Student Motivation in the 21st Century – Slovak Experience" *Acta Educationis Generalis*, vol.5, no.2, 2015, pp.1-13. <https://doi.org/10.1515/atd-2015-0061>
- 2 Schleicher, A. (2018), *World Class: How to Build a 21st-Century School System, Strong Performers and Successful Reformers in Education*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264300002-en>.
- 3 OECD Future of Education and Skills 2030 - OECD Future of Education and Skills 2030. (n.d.). *OECD Future of Education and Skills 2030*. URL: <https://www.oecd.org/education/2030-project/>
- 4 Delling, R. (1966). *Versuch der Grundlegung zu einer systematischen Theorie des Fernunterrichts [Attempt to lay the foundations for a systematic theory of distance learning]*. In L. Sroka (Ed.), *Fernunterricht* (pp. 181-211). Hamburger Fernlehrinstitut.
- 5 Garrison, D. R. (1989). *Understanding Distance Education: A Framework for the Future*. London: Routledge. URL: https://www.researchgate.net/publication/26455170_Theoretical_Challenges_for_Distance_Education_in_the_21st_Century_A_Shift_from_Structural_to_Transactional_Issues
- 6 Moore, M. (1990). *Background and overview of contemporary American distance education*. In: *Contemporary issues in American distance education*. VOL. 7, No. 1, 115-117. New York: Pergamon. <http://www.ijede.ca/index.php/ijede/article/view/416/306>
- 7 Hanson, D., Maushak, N., Schlosser, C., Anderson, M., Sorenson, C., Simonson, M. (1997). *Distance education: Review of the literature*. *Journal of Computing in Higher Education*, 23 (2-3), 124-142. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12528-011-9045-8/>
- 8 InfoTex&Servis. (2020, February 16). *Koncepcija razvitiya distancionnogo obucheniya v gosudarstvax-uchastnikax Sodruzhestva Nezavisimyx Gosudarstv [The concept of distance learning development in the member States of the Commonwealth of Independent States] (Utverzhdena Resheniem Soveta Glav Pravitel'stv Sodruzhestva Nezavisimyh Gosudarstv o Koncepcii Razvitija Distancionnogo Obucheniya v Gosudarstvax-Uchastnikah Sodruzhestva Nezavisimyh Gosudarstv Ot 22 Nojabrja 2007 Goda)*. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30338833 (In Russian)
- 9 Keegan, D.J. (1980). *On defining distance education*. *Distance Education*, 1, 13-36.
- 10 Garrison, D. R., and Shale, D. 1987. *Mapping the boundaries of distance education: Problems in defining the field*. *American Journal of Distance Education* 1.1: 7-13. <https://doi.org/10.1080/08923648709526567>
- 11 Barker, B. O., A. G. Frisbie, and K. R. Patrick. (1989) *Concepts: Broadening the definition of distance education in light of the new telecommunications technologies*. *American Journal of Distance Education* 3.1: 20-29. <https://doi.org/10.1080/08923648909526647>
- 12 Harasim, L. (2006) *A history of e-learning: Shift happened*. In *The international handbook of virtual learning environments*. Edited by J. Weiss, J. Nolan, J. Hunsinger, and P. Trifonas, 59-94. Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3803-7_2
- 13 Barbour, M. K. (2013). *The landscape of K-12 online learning: Examining what is known*. In M. G. Moore (Eds.), *Handbook of distance education* (3rd ed.) (pp. 574-593). New York: Routledge.
- 14 Cavanaugh, C., M. Barbour, and R. Brown, et al. 2009. *Research committee issues brief: Examining communication and interaction in online teaching*. Vienna: International Association for K-12 Online Learning.
- 15 Lowenthal, P. R., B. Wilson, and P. Parrish. (2009) *Context matters: A description and typology of the online learning landscape*. In *32nd Annual proceedings: Selected research and development papers presented at the annual convention of the Association for Educational Communications and Technology*. Washington, DC: AECT.

А.Р. Турганбаева¹, А.Е. Шахан^{1*}

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: shahan_akerke@mail.ru

ӘЛЕУМЕТТІК САУАЛНАМА НӘТИЖЕЛЕРІ: ЦИФРЛАНДЫРУДЫҢ ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДАҒЫ БІЛІМ АЛУШЫЛАРҒА ӘСЕРІ

Аңдатпа

Мақалада цифрландыру үрдісінде туындайтын тәуекелдерді анықтау бойынша зерттеу нәтижелері көрсетілген. Мақаланың басында білім беруді цифрландыру тәуекелдеріне сипаттама көрсетіліп, тәуекелдерді анықтау, талдау үшін әлеуметтік әдістер ретінде студенттердің білім беруді цифрландыру туралы қатынасы сауалнама арқылы анықталды, ол Шығыс Қазақстан облысы, Батыс Қазақстан облысы және Алматы қаласы студенттерінің арасында жүргізілді. Сауалнама нәтижесі арқылы білім беруде цифрландыру үрдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері, педагогикалық тәуекелдері, психологиялық тәуекелдері, таным тәуекелдері және жалпы цифрландырудың заманауи білім берудегі маңыздылығы анықталды. Болашақта жасалатын білім беру технологиялары мен оқыту платформалары осы тәуекелдердің алдын-алуы ескеру керек. Респонденттер жауаптары бойынша тікелей қарым-қатынастың азайғандығы мен оқыту форматының қашықтықтан электронды оқыту мен аудиториялық оқытудың үйлесімінің қажеттілігі айқындалады.

Түйін сөздер: цифрландыру, білім беру, тәуекелдер, қарым-қатынас, цифрлық білім беру ортасы, артықшылықтары, кемшіліктері.

Аннотация

А.Р. Турганбаева¹, А.Е. Шахан¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

РЕЗУЛЬТАТЫ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОСА: ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВУЗАХ

В статье представлены результаты исследований по выявлению рисков, возникающих в процессе цифровизации. В начале статьи была дана характеристика рисков цифровизации образования, а в качестве социальных методов для выявления рисков и их анализа было определено отношение студентов к цифровизации образования с помощью опроса. Анкетирование было проведено среди студентов Восточно-Казахстанской, Западно-Казахстанской областей и города Алматы. Результаты анкетирования выявили преимущества и недостатки процесса цифровизации в образовании, педагогические риски, психологические риски, риски познания и в целом важность цифровизации в современном образовании. Будущие образовательные технологии и учебные платформы должны учитывать предотвращение этих рисков. По ответам респондентов определяется снижение прямого общения и необходимость сочетания формата обучения с дистанционным электронным обучением и аудиторным обучением.

Ключевые слова: цифровизация, образование, риски, отношение, цифровая образовательная среда, достоинства, недостатки.

Abstract

THE RESULTS OF A SOCIOLOGICAL SURVEY: THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON STUDENTS AT UNIVERSITIES

Turganbayeva A. R.¹, Shakhana A. E.¹

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The article presents the results of studies to identify the risks that arise in the process of digitalization. At the beginning of the article, the characteristics of the risks of digitalization of education were given, and the attitude of students to the digitalization of education using a survey was determined as social methods for identifying risks and analyzing them. The survey was conducted among students of the East Kazakhstan, West Kazakhstan regions and the city of Almaty. The results of the survey revealed the advantages and disadvantages of the digitalization process in education, pedagogical risks, psychological risks, cognition risks and, in general, the importance of digitalization in modern education. Future educational technologies and learning platforms must take into account the prevention of these risks. According to the respondents' answers, the decrease in direct communication and the need to combine the training format with distance e-learning and classroom training are determined.

Keywords: digitalization, education, risks, attitude, digital educational environment, advantages, disadvantages.

Кіріспе

COVID-19 пандемиясының әсері білім беру ортасын цифрландыруда өз септігін тигізді. Бұл туралы Вадим Стриелковский «COVID-19 пандемиясы және академиялық және жоғары білім берудегі цифрлық революция» атты мақаласында «Академиялық топтар мен жоғары білім беруде COVID-19 пандемиясының негізгі және жиі кездесетін әсері цифрландыруға әкелетін инновациялар қарапайым жағдайда бюрократиялық әуре-сарсаң мен әкімшілік-құқықтық нормалар әсерінен айлар немесе мүмкін жылдарды қажет етер еді, алайда бірнеше апта, тіпті күндер ішінде енгізілді» деп пандемияның әсерінен цифрландыру үрдісін жеделдеткендігін айқындаған [1]. Әлбетте, цифрлық оқыту уақытша шарадан жаңа әлеуметтік трендке, ниетке, қайтымсыз әрекетке өзгерді, осы себепті оның мүмкін болатын әлеуметтік мәселелерін оның адамға әсерінің салдары мен сипатын зерттеу қажет болды [2]. Цифрлы технологиялардың қоғамға енуінің өзіндік артықшылықтары бар, бірақ әлемде цифрлық білім беру үрдісі дамығаннан бері, оның адамға әсерін зерттеумен байланысты мәселелер бүгінгі күні өзекті болып табылады. Цифрлы білім берудің адамға әсерін елемей инновациялық дамудың, цифрлы білім беру жүйелерінде теріс сценарийлер мен салдардың туындауына әкеледі. Бүгінгі күні қарастырып отырған білім беруді цифрландыру тәуекелдерін ескеру мен алдын алу арқылы сапалы және заманауи білім беру ортасын қалыптастыруға септігін тигізеді. Цифрлы білім беру ортасын қалыптастыру білім беру жүйесінің алдында өзіндік сұраныстарға ие. Олар: бүгінде жаңа дағдыларды қалыптастыру, цифрлық сауаттылықты дамыту, машиналық оқыту және жасанды интеллектті білім беруде енгізу, виртуалды шындық құралдарын, білім беру ресурстары мен платформаларын, цифрлы білім беру әдістемесін дамыту сынды сұраныстарды қамтиды. Алайда, осы сұраныстарды жобалау мен жасау кезінде туындайтын тәуекелдерді ескеру қажет. Жоғары оқу орындары өздерінің сандық трансформацияға қатысты нақты мақсаттар қоюы керек. Университеттерге барлық мекемеге цифрлық бастамаларды жүзеге асыруда күш біріктіруге мүмкіндік беретін стратегиялық көзқарас қажет [3]. Жоғары білім беруді цифрландыру тәуекелдеріне педагогикалық тәуекелдер: білім беру мазмұнының және оқыту технологияларының өзгеруі, педагогтар арасында цифрлық сауаттылықтың бір деңгейде болмауы, цифрландырудың салдарынан білім беру контентінің сапасының төмен болуы сияқты тәуекелдер қарастырылады. Шығармашылық жұмыстарды орындау үшін сандық технологияларды қолдануға қабілетті адамдар мен сандық технологияларды күнделікті операцияларды орындау үшін ғана қолданатын адамдар арасындағы «сандық алшақтық» [4]. Ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдері: ақпарат ағынының көп болуы, авторлық құқық мәселелері, әртүрлі кибершабуылдардың пайда болуы. Сондай-ақ білім беру ұйымдарының ақпараттық ресурстарына қолжетімділікті кеңейтуге байланысты алаяқтық пен плагиаттың өсуіне назар аударылады [5].

Цифрлық оқытуды енгізуге байланысты туындайтын психологиялық тәуекелдер:

1. Ақпараттық тәуелділік. Оқушылардың ақпараттық тәуелділігі электронды гаджеттерге тәуелділігі сезімінен, интернет кеңістігін өшірген кезде адамда пайда болатын алаңдаушылықтан, бақылауды білмеуден, компьютерлік ойын жүйелеріндегі уақытты өлшеуден алыстай алмайды.

2. Ақпараттық стресс. Ақпараттық стресстің салдарынан есте сақтау қабілетінің нашарлауы. Ми "артық" ақпараттан қорғаныс ретінде жұмыс істейді.

3. Клиптік ойлау. Ақпаратты байланыстыра алмау, логикалық байланыс клиптік ойлаудың нәтижесі ретінде.

4. Ақпараттың қол жетімділігі білім көлемінің жалған сезімі ретінде. Адамға бұл білім бар сияқты, іс жүзінде бұл ақпарат миға қол жетімді емес, ол жадпен бекітілмеген, сондықтан адам оны түсіне алмайды және талдай алмайды.

5. Ақыл-ой кемістігімен тікелей байланысты сөйлеу деңгейінің төмендеуі. Оқушылардың сауаттылық деңгейі төмендейді, тірі қарым-қатынастың болмауы, ойлау, эмоционалды интеллекттің төмендеуі.

6. Цифрлық оқыту кезінде тәрбиенің болмауы. Сандық технологиялар мұғалімді алмастыра алмайды: компьютер тәрбиелері алмайды [6].

Таным тәуекелдерін қарастырсақ, цифрлық құралдарды кеңінен қолдану салдарынан зейіннің төмендеуі, есте сақтау қабілетінің нашарлауы, емле және пунктуациялық сауаттылықтың төмендеуі, жазу, сөйлеу, өз ойын ашық жеткізу сынды практикалық дағдыларынан айырылу тәуекелдерінің туындауы жатады.

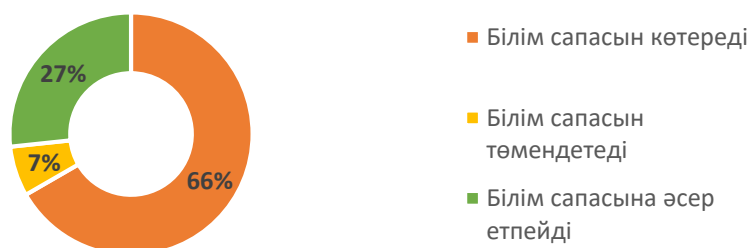
Әдістер

Білім беру жүйесін цифрландыру тәуекелдерін анықтау болуы мүмкін қолайсыз жағдайлардың алдын алуға мүмкіндік туғызады. Жоғары білім беру жүйесін цифрландыру үрдісінде туындайтын тәуекелдерді анықтау мақсатында студенттер арасында сауалнама жүргізілді. Сауалнама Шығыс Қазақстан облысы, Батыс Қазақстан облысы және Алматы қаласы студенттерінің арасында жүргізілді. Сауалнамада барлығы 120 респондент сұралды. Оның ішінде 48 респондент Шығыс Қазақстан облысы студенттері, 31 респондент Батыс Қазақстан облысы студенттері, 41 респондент Алматы қаласы студенттері. Сауалнама 18 сұрақтан құралды. Оның ішінде сәйкестік тәуекелдері, педагогикалық тәуекелдер, психологиялық тәуекелдер, таным тәуекелдері, техникалық тәуекелдер және денсаулыққа әсер ететін тәуекелдер бойынша сұрақтар қамтылды.

Нәтиже және талқылау

Сауалнама сұрақтары бойынша сәйкестік тәуекелдері блогы цифрлы білім беру жүйесінің заманауи білім беру жүйесіне сәйкестігі, жалпы цифрландыру үрдісінің артықшылығы мен кемшілігі қаралды. «Білім беруді цифрландырудың білім сапасына әсері қандай?» деген сұраққа респонденттердің 66% білім сапасын көтереді деп жауап берген, 27% білім сапасына әсер етпейді деп, ал қалған 7% білім сапасын төмендетеді деп есептейді (1-сурет).

«Білім беруді цифрландырудың» білім сапасына әсері қандай?



Сурет 1. Білім беруді цифрландырудың білім сапасына әсері

«Білім беру жүйесін цифрландырудың қандай артықшылықтары бар?» деген ашық сұраққа:

- Уақыт үнемдеуге, уақытты пайдалы өткізуге мүмкіндік береді
- Студенттер мен оқытушылар үшін қолайлы, ыңғайлы
- Цифрлы қызметтерді дамытуға мүмкіндік береді
- Кітап, дәптер секілді қағазбастылық жұмыстың азаюы, білім беру жүйесінің ортақталықтандырылуы

- Жан - жақты дамуға мүмкіндік береді
- Қашықтықтан білім алуға ыңғайлы
- Оқу материалдарын бірнеше рет қайталап көруге, оқуға ыңғайлы
- Инновациялық технологиялардың дамуының үлесі артады

«Білім беру жүйесін цифрландырудың қандай кемшіліктері бар?» деген ашық сұраққа ең көп алынған жауаптар:

- Инфрақұрылым мен интернет желісінің сапасының төмендігі
- Оқытушы мен студент арасындағы қарым-қатынастың нашарлауы
- Денсаулыққа әсері
- Егде жастағы оқытушылар жаңа цифрлық технологияларды қолдана алмауы
- Цифрлы білім беру ортасының жүйеленбегендігі
- Кейбір аудан, облыстарда интернет желісінің жылдамдығының төмен болуы
- Теориялық білімді практикада жүзеге асыра алмау
- Техникалық құралдарға, Интернет желісіне тәуелділіктің артуы
- Тапсырмаларды Интернет желісінен көшіру

«Жоғары білім беру жүйесі заманауи білім талаптарына сай келу үшін не қосуға болады?» деген сұраққа аумақтар бойынша өзгешелік байқалады. Шығыс және Батыс Қазақстан студенттері үшін

жоғары жылдамдықты интернет желісінің қажеттілігінің жоғары екендігі, ал Алматы қаласы студенттері үшін жоғары жылдамдықты интернет желісі, білім беру платформалары және виртуалды шындық құралдарының қажеттілігі бір деңгейде екендігі айқындалған (2-сурет). Білім беру платформаларын жасау туралы Трин Тхи Тху «Вьетнамның жоғары білім берудегі ақпараттық технологиялар негізінде академиялық кредиттер жүйесі туралы» мақаласында оқыту мен оқытуға арналған цифрлық платформалар мен контент заманауи білім беру стандарттары мен әдістеріне сәйкес келетін құралдарды, ең алдымен, цифрлық технологияларға негізделген құралдарды пайдалану маңызды деп көрсеткен [7].



Сурет 2. Аумақтар бойынша Жоғары білімді цифрландыру деңгейі заманауи білім талаптарына сай келуі үшін қажеттілікті анықтау

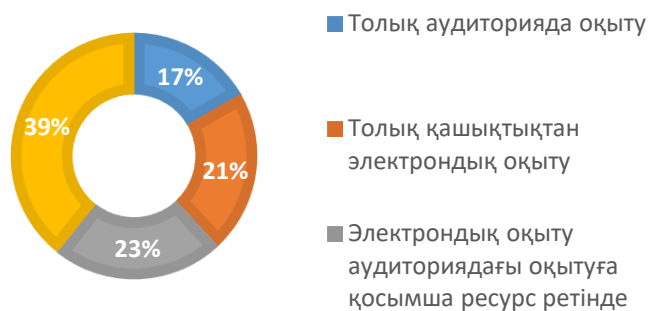
Педагогикалық тәуекелдерді анықтау мақсатында 3 сұрақ қойылды. Бірінші сұрақ «Сіз қандай мәлімдемелермен келісесіз?» Шығыс Қазақстан облысы бойыншы респонденттердің 40% «Цифрландыру студенттердің қабілетін дамытуға ықпал етеді» деп есептейді. Алматы қаласы бойынша респонденттердің 43% -ы «Цифрландыру университеттерге заманауи технологияларға жол ашады» деп, ал 28%-ы «Цифрландыру бөлімдердің (кітапхана, кафедра, оқу аудиториялары) жұмысын автоматтандыруға ықпал етеді» деп есептейді. Батыс Қазақстан облысы бойынша респонденттердің басым бөлігі 47% «Цифрландыру бөлімдердің (кітапхана, кафедра, оқу аудиториялары) жұмысын автоматтандыруға ықпал етеді» деп есептейді (1-кесте).

Кесте 1. Аумақтар бойынша Жоғары білімді цифрландыру үрдісінде студенттердің көзқарасын анықтау

| «Сіз қандай мәлімдемелермен келісесіз?» сұрағына жауаптар | Алматы қаласы | Шығыс Қазақстан облысы | Батыс Қазақстан облысы |
|--|---------------|------------------------|------------------------|
| Цифрландыру бөлімдердің (кітапхана, кафедра, оқу аудиториялары) жұмысын автоматтандыруға ықпал етеді | 28% | 19% | 47% |
| Цифрландыру оқу процесін тиімді жекелендіруге мүмкіндік бермейді | 7% | 6% | 6% |
| Цифрландыру студенттердің қабілетін дамытуға ықпал етеді | 18% | 40% | 18% |
| Цифрландыру студенттердің қабілетінің дамуын тежейді | 4% | 6% | 6% |
| Цифрландыру университеттерге заманауи технологияларға жол ашады | 43% | 27% | 23% |
| Барлығы | - | 2% | - |

Оқыту форматының студенттер үшін тиімді форматын анықтау мақсатында қойылған сұраққа үш аумақ бойынша респонденттердің пікірі бойынша қазіргі таңда электронды оқыту мен аудиторияда оқытудың қажеттілігі көрсетіледі (3-сурет).

СІЗ ОҚЫТУ ФОРМАТЫНЫҢ ҚАЙ ТҮРІН ТИІМДІ ДЕП САНАЙСЫЗ?

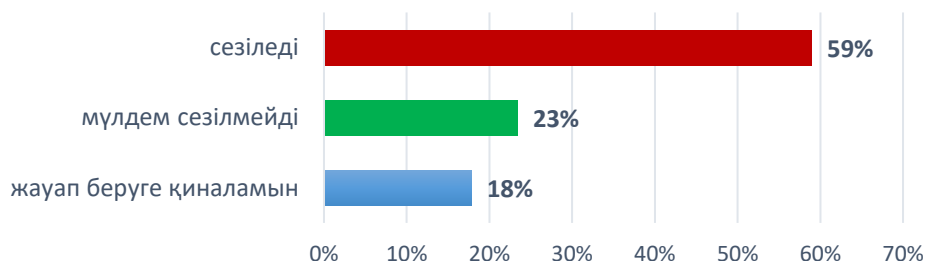


Сурет 3. Оқыту форматының тиімді нұсқасын анықтау

Психологиялық тәуелділікті анықтау блогында 3 сұрақ қамтылды. «Цифрлық технологияға (мобильді смартфон, ноутбук, түрлі гаджеттер) психологиялық тәуелділік бар деп ойлайсыз ба?» деген сұрақтарға Алматы қаласы бойынша респонденттердің 59%-ы иә, бірақ бірқалапты, 37%-ы үлкен тәуелділік бар, 4%-ы жоқ, цифрлы технологияларсыз жүре аламын деп жауап берген. Шығыс Қазақстан облысы бойынша осы сұраққа респонденттердің 48%-ы иә, бірақ бірқалапты, 29%-ы үлкен тәуелділік бар, 23%-ы жоқ, цифрлы технологияларсыз жүре аламын деп жауап берген. Батыс Қазақстан облысы бойынша осы сұраққа респонденттердің 40%-ы иә, бірақ бірқалапты, 40%-ы үлкен тәуелділік бар, 20%-ы жоқ, цифрлы технологияларсыз жүре аламын деп жауап берген.

Қашықтықтан оқытуда оқытушымен және студенттермен тікелей қарым-қатынастың жоқтығын сезіну көрсеткіші көрсетілген (4-сурет).

Қашықтықтан оқытуда оқытушымен және студенттермен тікелей қарым-қатынастың жоқтығын сезінесіз бе?



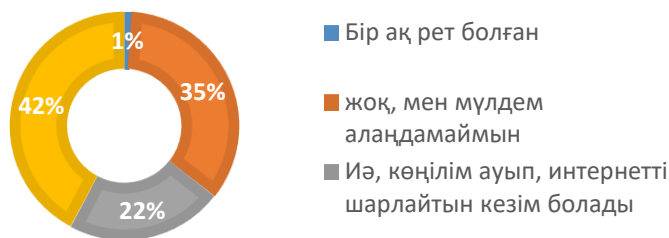
4-сурет. Қашықтықтан білім алуда оқытушы мен студент арасындағы тікелей байланыстың азаюы бойынша студенттердің көзқарасы

Цифрландыру үрдісіндегі таным тәуекелдерін Храпов С.А. зерттеу мақаласы бойынша: Цифрлы білім беру кеңістігіндегі танымдық тәуекелдеріне мыналарды қамтуы керек:

- білім алушылардың когнитивтік саласын ақпараттық толықтыру;
- назардың тұрақсыздығы;
- оқу материалын иеліктен шығару және оның когнитивті және жеке интериоризация мәселелері;
- визуалды қабылдаудың ауызша-логикалық тұрғыдан үстемдігі;
- тілдік (дербестендірілген) коммуникация мәселелері;
- қысқа мерзімді жадтың үстемдігі;
- сыни өзіндік ойлау деңгейін төмендету [8].

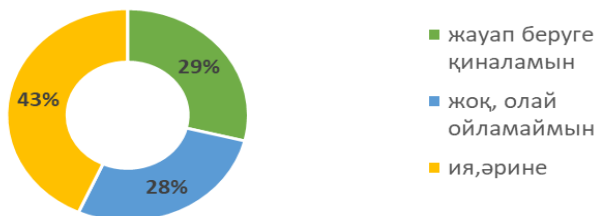
Таным тәуелділіктерін төмендегі сұрақтар арқылы анықтадық (5, 6-сурет).

**НАЗАР АУДАРУДЫ ҚАЖЕТ ЕТЕТІН ТАПСЫРМАЛАРДЫ
ОРЫНДАУ КЕЗІНДЕ ИНТЕРНЕТТЕГІ ЦИФРЛЫҚ ОҚЫТУ
ЗЕЙІННІҢ ТӨМЕНДЕУІНЕ ЖӘНЕ ТАПСЫРМА
ОРЫНДАУЫНЫҢ НАШАРЛАУЫНА ӘКЕЛУІ МҮМКІН БЕ?**



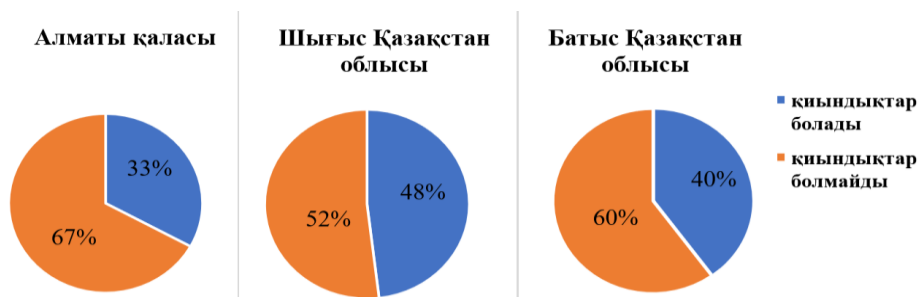
Сурет 5. Назар аударуды қажет ететін тапсырмаларды орындау кезінде Интернеттегі цифрлық оқыту зейіннің төмендеуіне және тапсырма орындауының нашарлауына әкелуі мүмкіндігінің көрсеткіші

Білім беруге цифрлық технологияны енгізу студенттерді жазу, сөйлеу, жанды қарым-қатынас жасаудың практикалық дағдыларынан айыруы мүмкін деп ойлайсыз ба?



Сурет 6. Білім беруге цифрлық технологияны енгізу студенттерді жазу, сөйлеу, жанды қарым-қатынас жасаудың практикалық дағдыларынан айыруы мүмкіндігінің көрсеткіші

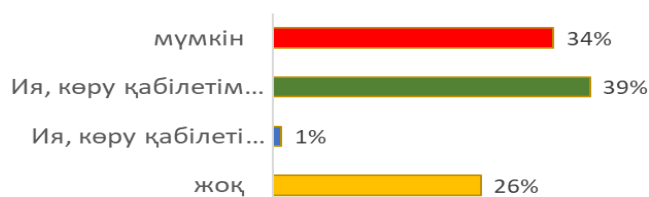
«Үй жағдайында қашықтықтан білім алу кезінде оқу әрекетіне толық назар аудару қаншалықты қиын?» деген сұрақ бойынша үш аумақ жауаптарында айырмашылықтар байқалады (7-сурет).



Сурет 7. Үй жағдайында қашықтықтан білім алу кезінде оқу әрекетіне толық назар аударуда туындайтын қиыншылық көрсеткіші

Денсаулыққа кері әсер ететін тәуекелдерді анықтау барысында «Онлайн білім алу кезінде шаршағыштық пайда болады ма?» деген сұраққа респонденттердің 29% күнделікті, 29% аптасына бірнеше рет, 28% шаршағыштық сезілмейді, 14% айына бірнеше рет шаршағыштықтың сезілетіндігін көрсеткен. Сонымен қатар сауалнама нәтижесі бойынша ақпараттық-коммуникациялық құралдармен жұмыс істеу кезінде көру қабілетіне әсері бар екендігі көрсетілді (8-сурет).

Компьютерде жұмыс істегенде көру қабілетінің нашарлауын сезінесіз бе?



Сурет 8. Компьютерде жұмыс істеу кезінде көру қабілетіне әсер ету көрсеткіші

Қорытынды

Қорытындылай келе, білім беру жүйесіндегі цифрлы трансформация қазіргі заманның келбетін анықтайтын жетекші үрдіс ретінде анықталады. Цифрландыру үрдісі қарқынды түрде даму үшін, оның туындайтын тәуекелдерін ескеру керек. Себебі бұл туындауы мүмкін жағдайлардың алдын алуға, цифрлы білім беру жүйесін бір жүйеге келтіруге, цифрлы инфрақұрылымды дамытуға, оқытушы мен студенттердің ақпараттық қауіпсіздігін, олардың денсаулықтары мен таным-дағдыларына кері әсер етпеуін қамтамасыз етуде өте маңызды болып табылады. Алынған сауалнама нәтижесі бойынша білім беруді цифрландырудың қажеттілімен қатар қиындықтары көрсетілді. Білім беру жүйесін цифрландырудың мелекет үшін тиісті ақпараттық – коммуникациялық инфрақұрылымды, Интернет желісін дамыту қажеттігін көрсетті. Сонымен қатар цифрландыру үрдісінде танымдық тәуекелдері мен денсаулыққа кері әсер ететін тәуекелдердің бар екендігін көрсетеді. Демек, болашақта жасалатын білім беру технологиялары мен оқыту платформалары осы тәуекелдердің алдын-алуды ескеру керек. Респонденттер жауаптары бойыншы тікелей қарым-қатынастың азайғандығы мен оқыту форматының қашықтықтан электронды оқыту мен аудиториялық оқытудың үйлесімінің қажеттілігі айқындалады. Демек, білім беруді цифрландыру болашақта көптеген жаңа білім беру технологиялары мен әдістерінің дамуына, жаңа оқыту форматтарының қалыптасуына, білім беру сапасын бағалау әдістемесі, тиімді, цифрлық білім беру платформаларының қалыптасуына, оқытушы функцияларының өзгеруіне әкеледі деп болжауға болады. Жоғары білім беруді цифрландыру оқу, білім беру және басқару процесін, күнделікті әлеуметтік практиканы трансформациялауды білдіреді. Цифрландыру білім беруді ақпараттық ресурстармен интеграциялауды көздейді [9]. Жоғары оқу орындарындағы технологиялық бейімделудің жетістігі басшылықтың, оқытушылар мен студенттердің бірлескен күш-жігеріне байланысты [10].

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Strielkowski W., 2020. COVID-19 pandemic and the digital revolution in academia and higher education. DOI:10.20944/preprints202004.0290.v1
- 2 Baeva Liudmila V. THE “BLACK SWAN” OF COVID-19 AND THE SECURITY ISSUES IN DIGITAL LEARNING // *Galactica Media: Journal of Media Studies*. 2021. №2., DOI: <https://doi.org/10.46539/gmd.v3i2.161>
- 3 Kaputa, V., Loučanová, E., & Tejerina-Gaite, F., A., 2022. Digital Transformation in Higher Education Institutions as a Driver of Social Oriented Innovations. *Social Innovation in Higher Education*, 61, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-84044-0_4
- 4 Андрюхина Л.М. Цифровизация профессионального образования: перспективы и незримые барьеры / Л.М. Андрюхина, Н.О. Садовникова, С.Н. Уткина // *Образование и наука*. – 2020. – Т. 22. – № 3. – С. 116–147, DOI: 10.17853/1994-5639-2020-3-116-147
- 5 Saykili A. Higher education in the digital age: The impact of digital connective technologies. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 2019, no. 2 (1), pp. 1–15. doi: 10.31681/jetol.516971.
- 6 Кухтина, Я. В. Психологические риски цифрового образования / Я. В. Кухтина // *Наукосфера*. – 2021. – № 4-1. – С. 79-82.
- 7 Trinh Thi Thu. On IT-Based Academic Credit System in Higher Education in Vietnam. *American Journal of Educational Research*. 2021; 9(4):222-228. DOI: 10.12691/education-9-4-11.
- 8 Храпов, С. А. Когнитивные риски цифровизации образовательного пространства и проблемы психолого-педагогического сопровождения обучающихся / С. А. Храпов // *Перспективы и приоритеты педагогического образования в эпоху трансформаций, выбора и вызовов: Сборник научных трудов VI Виртуального*

Международного форума по педагогическому образованию, Казань, 27 мая – 09 2020 года. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2020. – С. 198-206.

9 Минина В.Н. Цифровизация высшего образования и ее социальные результаты // Вестник Санкт-Петербургского университета. Социология. 2020. Т. 13. Вып. 1. С. 84–101, DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu12.2020.106>

10 Habib, M. N., Jamal, W., Khalil, U., & Khan, Z., 2021. Transforming universities in interactive digital platform: case of city university of science and information technology. *Education and Information Technologies*, 26(1), 517-541, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10237-w>

References:

1 Strielkowski W.(2020). COVID-19 pandemic and the digital revolution in academia and higher education. DOI:10.20944/preprints202004.0290.v1 (In English)

2 Baeva Liudmila V(2021). THE “BLACK SWAN” OF COVID-19 AND THE SECURITY ISSUES IN DIGITAL LEARNING // *Galactica Media: Journal of Media Studies*. №2, DOI: <https://doi.org/10.46539/gmd.v3i2.161> (In English)

3 Kaputa, V., Loučanová, E., & Tejerina-Gaite, F., A.,(2022). Digital Transformation in Higher Education Institutions as a Driver of Social Oriented Innovations. *Social Innovation in Higher Education*, 61, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-84044-0_4 (In English)

4 Andrjuhina L.M. (2020) Cifrovizacija profesional'nogo obrazovanija: perspektivy i nezrimye bar'e ry [Digitalization of vocational education: prospects and invisible barriers]. L.M. Andrjuhina, N.O. Sadovnikova, S.N. Utkina, *Obrazovanie i nauka.*, T. 22, № 3, S. 116–147, DOI: 10.17853/1994-5639-2020-3-116-147 (In Russian)

5 Saykili A. (2019) Higher education in the digital age: The impact of digital connective technologies. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, № 2 (1), pp. 1–15. (In English) doi: 10.31681/jetol.516971.

6 Kuchtina, Ja. V. (2021) Psihologicheskie riski cifrovogo obrazovanija [Psychological risks of digital education]. Ja. V. Kuchtina, *Naukosfera*, № 4-1, 79-82. (In Russian)

7 Trinh Thi Thu (2021) On IT-Based Academic Credit System in Higher Education in Vietnam. *American Journal of Educational Research*. 9(4):222-228. (In English) DOI: 10.12691/education-9-4-11.

8 Hrapov, S. A. (2020) Kognitivnye riski cifrovizacii obrazovatel'nogo prostranstva i problemy psihologo-pedagogicheskogo soprovozhdenija obuchajushhihsja [Cognitive risks of digitalization educational space and challenges psychological and pedagogical support of trainers]. S. A. Hrapov, *Perspektivy i priorityty pedagogicheskogo obrazovanija v jepohu transformacij, vybora i vyzovov: Sbornik nauchnyh trudov VI Virtual'nogo Mezhdunarodnogo foruma po pedagogicheskomu obrazovaniju, Kazan', Kazanskij (Privolzhsckij) federal'nyj universitet*, 198-206, (In Russian)

9 Minina V.N. (2020) Cifrovizacija vysshego obrazovanija i ee social'nye rezul'taty [Digitalization of higher education and its social results]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Sociologija*, T. 13. Вып. 1, 84–101, DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu12.2020.106> (In Russian)

10 Habib, M. N., Jamal, W., Khalil, U., & Khan, Z.,(2021) Transforming universities in interactive digital platform: case of city university of science and information technology. *Education and Information Technologies*, 26(1), 517-541, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10237-w> (In English)

Б.М. Усеинов^{1*}, А.А. Солодовник¹, М.А. Шаймерденова¹, Л.О. Байжигитова¹

¹Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан
^{*}e-mail: buseinov@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ К ЕДИНОМУ НАЦИОНАЛЬНОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ В МАЛОКОМПЛЕКТНЫХ ШКОЛАХ В РАМКАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрена технология организации обучения в рамках факультатива для достижения целей и решения задач, поставленных в обновленном образовательном стандарте и подготовить выпускников к Единому национальному тестированию. Основными задачами исследования являлись изучение эффективности проведения тестирования на базе различных тестовых онлайн-платформ, разработка маршрутных листов и инструкции к каждой тестирующей площадке. В итоге исследования была разработана технология подготовки к Единому Национальному Тестированию в условиях дистанционного обучения в рамках факультатива. Критерием ее эффективности стало исследование, проведенное в малокомплектных школах Северо-Казахстанской области. В работе представлены результаты определения эффективности применения маршрутных листов с использованием в них электронных тестовых платформ, происходившей динамикой успешности в виде диаграмм. При этом реализация исследования при подготовке к Единому национальному тестированию происходила как в синхронном, так и в асинхронном форматах дистанционного обучения. Итоги педагогического эксперимента позволяют говорить о положительном влиянии предложенной технологии на итоговый результат при сдаче Единого национального тестирования обучающимися.

Ключевые слова: единое национальное тестирование, электронная платформа, программа факультатива, онлайн тестирование.

Аңдатпа

Б.М.Усеинов¹, А.А.Солодовник¹, М.А.Шаймерденова¹, Л.О.Байжигитова¹

¹Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан

ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУ ШЕҢБЕРІНДЕ ШАҒЫН ЖИНАҚТАЛҒАН МЕКТЕПТЕРДЕ ҰЛТТЫҚ БІРЫҢҒАЙ ТЕСТІЛЕУГЕ ДАЙЫНДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Мақалада жаңартылған білім беру стандартында қойылған мақсаттарға қол жеткізу мен міндеттерді шешу және түлектерді Ұлттық бірыңғай тестілеуге дайындау үшін факультатив шеңберінде оқытуды ұйымдастыру технологиясы қарастырылған. Зерттеудің негізгі міндеттері әртүрлі онлайн-тестілеу платформалары негізінде тестілеуді өткізудің тиімділігін зерделеу, әрбір тестілеу алаңына бағдар парақтарын және нұсқаулықтарды әзірлеу болып табылады. Зерттеу нәтижесінде факультатив аясында қашықтықтан оқыту жағдайында Ұлттық бірыңғай тестілеуге дайындық технологиясы жасалды. Оның тиімділігінің өлшемі Солтүстік Қазақстан облысының шағын жинақты мектептерінде жүргізілген зерттеу болды. Жұмыста диаграммалар түріндегі сәттілік динамикасы болып табылатын электронды тест платформаларын қолдана отырып, маршрут парақтарын қолдану тиімділігін анықтау нәтижелері көрсетілген. Бұл ретте Ұлттық бірыңғай тестілеуге дайындық кезінде зерттеуді іске асыру қашықтықтан оқытудың синхронды да, асинхронды да форматтарында жүргізілді. Зерттеу қорытындылары ұсынылған технологияның білім алушылардың Ұлттық бірыңғай тестілеуді тапсыру кезіндегі қорытынды нәтижеге оң әсері туралы айтуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ұлттық бірыңғай тестілеу, электронды платформа, факультатив бағдарламасы, онлайн тестілеу.

Abstract

FEATURES OF PREPARATION FOR THE UNIFIED NATIONAL TESTING IN SMALL SCHOOLS WITHIN THE FRAMEWORK OF DISTANCE LEARNING

Useinov B.M.¹, Solodovnik A.A.¹, Shaimerdenova M.A.¹, Baizhigitova L.O.¹

¹Manash Kozybaev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

The article discusses the technology of organizing training within the elective to achieve the goals and solve the tasks set in the updated educational standard and prepare graduates for the Unified National Testing. The main objectives of the study were to study the effectiveness of testing on the basis of various online test platforms, the development of itinerary sheets and instructions for each testing site. As a result of the research, the technology of

preparation for the Unified National Testing in the conditions of distance learning as part of the elective was developed. The criterion of its effectiveness was a study conducted in small schools of the North Kazakhstan region. The paper presents the results of determining the effectiveness of the use of route sheets using electronic test platforms in them, the dynamics of success in the form of diagrams. At the same time, the implementation of the study in preparation for the Unified National Testing took place both in synchronous and asynchronous distance learning formats. The results of the pedagogical experiment allow us to talk about the positive impact of the proposed technology on the final result when passing the Unified National Testing by students.

Keywords: unified national testing, electronic platform, elective program, online testing.

Введение

Залогом успешной сдачи экзаменов по физике по-прежнему является полноценное физическое образование, предполагающее выполнение в полном объеме требований государственного стандарта образования Республики Казахстан. В программе развития Казахстана до 2030 года приоритетной государственной задачей является обеспечение качественного базового уровня естественнонаучных и математических знаний у всех выпускников школы [1].

Каждый школьник в процессе обучения должен иметь возможность получить полноценную подготовку к выпускным экзаменам. Многолетний опыт показывает, что практика специального предэкзаменационного натаскивания выпускников на сдачу ЕНТ без системного изучения учебного предмета обречена на весьма ограниченный успех.

Изучив основные инструктивные рекомендации для учителей физики видно, что основной упор в них сделан на систематизацию знаний. Системная подготовка к экзамену за курс и основной, и старшей школы начинается с самого начала изучения физики, с первых уроков. При этом важно принимать во внимание не только содержание изучаемого материала, но и особенности обучения школьников специальным организационным и смысловым аспектам экзаменационной процедуры, сделать их привычными и понятными. Важно, чтобы учителя стали систематически применять в процессе обучения школьников критериальное оценивание результатов выполнения ими всех видов учебных заданий. Это позволит предупредить возможные затруднения выпускников и избежать досадных срывов в процессе экзамена. В процессе обучения и подготовки к ЕНТ необходимо грамотно организовать сопутствующее повторение учебного материала, а непосредственно перед экзаменом спланировать обобщающее повторение. При планировании обобщающего повторения целесообразно обратить внимание на те вопросы школьного курса физики, которые изучаются точно и не востребованы в полной мере при освоении последующих тем [2].

При организации учебного процесса необходимо опираться на использование в текущей работе с учащимися заданий всех типологических групп, которые используются в контрольных измерительных материалах ЕНТ: заданий, классифицированных по структуре, по уровню сложности, по разделам курса физики, по проверяемым умениям, по способам представления информации и т.д. Особое внимание важно уделять формированию у учащихся методологической культуры решения расчётных физических задач. Этот вид деятельности является одним из наиболее важных для успешного продолжения образования [3].

В экзаменационной работе проверяются умения применять физические законы и формулы, как в типовых, так и в измененных учебных ситуациях, требующих проявления достаточно высокой степени самостоятельности при комбинировании известных алгоритмов действий или создании собственного плана выполнения задания.

Фундамент для формирования этих умений закладывается в основной школе и постепенно надстраивается в течение всех лет изучения физики. Отсюда вытекает необходимость в разработке интерактивных методов обучения и контроля освоенности материала, направленных на развитие инновационной методики преподавания и подготовки к ЕНТ. В данной работе предлагается вариант использования интерактивных методов обучения и онлайн-тестового контроля в рамках факультатива согласно обновлённого содержания образования и проверка их эффективности [4].

Методология исследования

На сегодняшний день в Казахстане происходит рестраивание системы подготовки учащихся к итоговой аттестации в связи с обновлением содержания образования. Теперь перед учителем стоит очень важная проблема: как организовать обучение, чтобы достичь целей и решить задачи, поставленные в обновленном образовательном стандарте и подготовить выпускников к ЕНТ.

Целью исследования является разработка программы факультатива в рамках обновленного

содержания образования для подготовки к ЕНТ, адаптированного под дистанционный формат обучения, а также создание инструкции к онлайн-тренажерам используемых для проведения еженедельного тестирования, промежуточных и контрольных срезов.

В ходе исследования были разработаны маршрутные листы для учащихся, которые включают в себя: материал для повторения, ссылки на видеоуроки по тематике, алгоритмы решения задач, а также инструкции по работе на различных онлайн-платформах для проведения промежуточных и контрольных срезов знаний по предмету. На рисунке 1 показан фрагмент программы факультатива за 2020-2021 год.

| Годовой план работы по подготовке к ЕНТ (физика) | | |
|---|---|------|
| № | Тема | Дата |
| МЕХАНИКА | | |
| Кинематика | | |
| 1 | Движение тела, брошенного под углом к горизонту Движение точки по окружности | |
| 2 | Решение задач | |
| 3 | Тестирование. Подготовка к ЕНТ. | |
| Динамика. Законы Ньютона | | |
| 4 | Закон всемирного тяготения | |
| 5 | Решение задач | |
| 6 | Тестирование. | |
| МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА | | |
| Основы молекулярно-кинетической теории | | |
| 7 | Основные положения молекулярно-кинетической теории и ее опытное подтверждение. Масса и размеры молекул. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории | |
| 8 | Решение задач | |
| 9 | Уравнение Менделеева — Клапейрона. Решение задач | |
| 10 | Решение задач | |
| 11 | Тестирование. | |
| ЭЛЕКТРОСТАТИКА | | |
| 12 | Закон Кулона Электрическое поле Напряженность электрического поля. Силовые линии электрического поля | |
| 13 | Решение задач | |
| 14 | Тестирование | |
| 15 | Работа сил электрического поля Потенциал электрического поля Диэлектрики в электрическом поле Электрическая емкость. | |
| 16 | Тестирование | |

Рисунок 1. Фрагмент программы факультатива по подготовке к ЕНТ

Исследование проводилось в двух малокомплектных школах Северо-Казахстанской области Кызылжарского района: КГУ «Озерная средняя школа» и КГУ «Архангельская средняя школа», в течение всего 2020-2021 учебного года. По состоянию на 2019–2020 учебный год в Республике Казахстан по данным Национальной Образовательной Базы Данных насчитывается 2833 МКШ, что составляет 38,6% всех школ страны. Наибольшее количество МКШ расположены в Северо-Казахстанской, Акмолинской, Восточно-Казахстанской, Костанайской областях. Согласно представленным данным, можно сделать вывод о важности и актуальности данного исследования [5]. В исследовании принимали участие обучающиеся 11 классов с примерно одинаковым уровнем знаний и подготовки по предмету, согласно данным среднего показателя входного тестового контроля. Факультатив по физике в 11 классе для школ с естественно-научным направлением регламентирован общеобразовательным государственным стандартом. В рабочей учебной программе указывается количество часов и недель на его проведение. Однако содержание среднесрочного и краткосрочного планирования отдается на усмотрение учителя. Данный факультатив обычно используется учителями физики для подготовки к ЕНТ [6].

В ходе исследования нами была разработана программа факультатива, которая рассчитана на 34 часа. Так как факультатив имеет свободную форму проведения без привязки к критериальной системе обучения и не оценивается через формативные оценки, то для удобства учащихся за основу программы была взята поурочная система планирования с использованием маршрутных листов. На рисунке 2 показан образец маршрутного листа, по которым учащиеся 11 классов осуществляли подготовку к ЕНТ в рамках дистанционного обучения [7].

| Маршрутный лист для учащегося | | |
|---|--|---|
| Инструкция: маршрутный лист может быть заполнен в электронном формате и отправлен на проверку учителю посредством системы «Кундедік» или любого доступного мессенджера. При отсутствии такой возможности задания выполняются в тетради, фотографируются и отправляются учителю на проверку посредством доступного мессенджера. | | |
| Предмет | ФИЗИКА - ФАКУЛЬТАТИВ | |
| Ф.И.О. учителя | Шаймерденова М.А. | |
| Тема урока | Основные положения молекулярно-кинетической теории и ее опытное подтверждение. Масса и размеры молекул. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории | |
| Цели обучения | Углубить и закрепить теоретические знания по основным положениям молекулярно-кинетической теории | |
| Порядок действий | Ресурсы (заполняется учителем) | Выполнение (заполняется учеником) |
| Повтори | <p>Просмотри учебный материал по ссылке: Сделай краткий конспект https://uchitel.pro/количество-теплоты/ Пройди по ссылке просмотри видео и вспомни основные положения МКТ https://yandex.kz/video/preview/?filmId=14610741583461746729&text=удельной+теплоемкости+твердого+тела https://yandex.kz/video/preview/?filmId=1810004149153727566&text=удельной+теплоемкости+твердого+тела</p> | Отметь знаком «+» материал, с которым ознакомился(лась) |
| Ответь | <p>Что такое внутренняя энергия? От чего зависит внутренняя энергия? Определение первого и второго закона термодинамики? Как можно изменить внутреннюю энергию? Что такое теплопередача, конвекция, теплообмен? Вспомни формулы МКТ? Что такое теплопроводность? Обыкновенный или пористый кирпич обеспечивает лучшую теплоизоляцию здания? Что такое количество теплоты? Уравнение теплового баланса?</p> | |
| Выполни | <p>Пройди по ссылке и ответь на тесты: https://obrazovaka.ru/test/udelnaya-teploemkost-formula.html Проверь себя ответь на тесты за весь раздел «МКТ» https://phys-oge.sdangia.ru/test/?theme=7 Реши задачи в приложении маршрутного листа</p> | |

Рисунок 2. Образец маршрутного листа к факультативу для подготовки к ЕНТ

В каждом маршрутном листе есть рекомендации по повторению и изучению материала. Даются ссылки на видеоконтент по рассматриваемой теме и ссылки на алгоритмы решения задач, а также инструкция к тесту платформа для проведения которого выбирается в зависимости от рассматриваемой тематики. При работе по подготовке было выбрано 3 основных платформы – Findhow.kz, Itest (Билимленд), Umnik.kz.

Findhow.kz интересен тем, что дает возможность подготовиться к контрольному срезу так как включает в себя сразу все разделы предмета. Он не требует специальной регистрации. Общее количество тестовых заданий – 20. Однако общая модель платформы устарела, отсутствует деление на разделы, нет контекстных заданий. Еще одна платформа для прохождения контрольного среза - umnik.kz. Данная платформа не требует регистрации на сайте, что является удобным для обучающихся и чаще всего используется нами в момент проведения промежуточных срезов. Следующая достаточно популярная и наиболее удобная платформа - itest.kz на базе образовательного ресурса Билимленд. Обладает большим функционалом, каждый раздел предмета рассмотрен отдельно. Сюда также включена база тестов ЕНТ с 2019 года. Из всех рассмотренных выше платформ наиболее интересен учащимся itest как в техническом плане, так и по содержательной части.

Для прохождения тестирования на данной платформе авторами статьи была разработана инструкция, которая включает в себя следующие действия:

1 Для прохождения тестирования вам необходимо найти уединенное место для более эффективного прохождения теста

2 Не забудьте взять ручку, тетрадь и калькулятор.

3 Зайдите на сайт по ссылке <https://itest.kz/ru/ent/fizika>

- 4 Пройдите регистрацию по предложенной форме.
- 5 Войдите в систему
- 6 В правом верхнем углу выберите язык тестирования
- 7 Нажмите на 1 вкладку в верхнем левом углу- ЕНТ
- 8 Далее перед вами в диалоговом окне выйдут обязательные и профильные предметы.
- 9 Выбираем во вкладке «профильные предметы» – физика.
- 10 После чего кликаем по ней. Автоматически в диалоговом окне выпадут разделы.
- 11 Выбираем необходимый раздел и начинаем тестирование
- 12 По завершению тестирования. Нажмите кнопку «Завершить тест»
- 13 После того как вы завершили тест. Платформа предлагает вам провести работу над ошибками. Нажимаем на соответствующую кнопку, после чего появится диалоговое окно с алгоритмом решения задачи по данному тесту.
- 14 Порешайте тест еще раз. Запишите решение в тетрадь.
- 15 Результат статистики теста отправьте учителю.



Рисунок 3. Платформа itest

Результаты эксперимента

В ходе проведения исследования в 11 классах в рамках факультатива были получены следующие результаты, приведенные на рисунках 4,5,6. На рисунке 4 приведены результаты промежуточных срезов за 1, 2, 3, 4 четверть в 11 классах Озерной и Архангельской СШ. Как видно из диаграммы за первую четверть входной срез показал очень низкие средние результаты от 5 до 10 баллов, в то время как последний седьмой срез показал небольшую динамику роста до 15 баллов из 45. Что касается второй четверти динамика роста продолжает отслеживаться, последний срез дает результативность от 13-17 баллов. Сравнение результатов промежуточных срезов по четвертям показал, что тенденция к росту баллов среди обучающихся сохранялась на протяжении всего учебного года. Причем тенденция к росту носила следующий характер в сравнительном анализе 1 и 2 четверти процентный прирост баллов равен 17%.

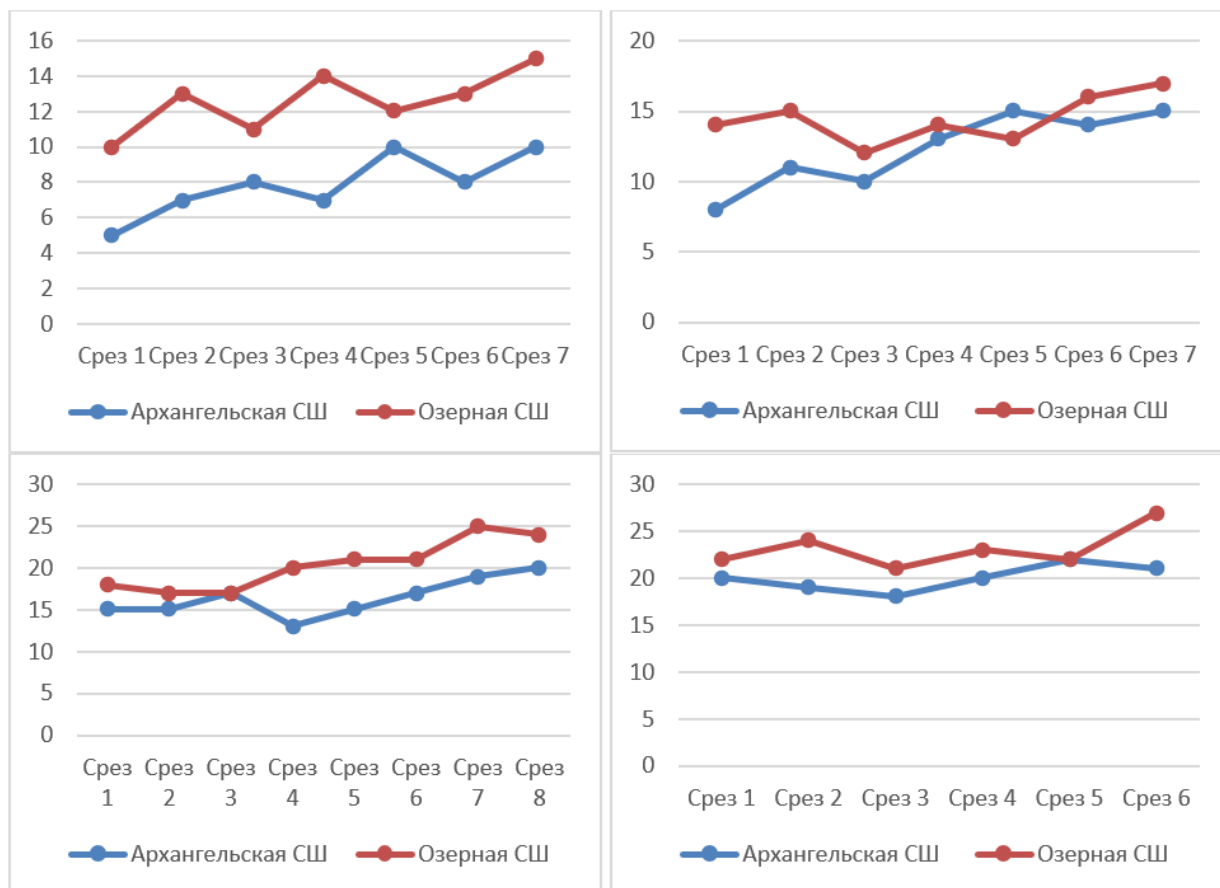


Рисунок 4. Результаты промежуточных срезов Архангельской и Озерной средних школ за 1,2,3,4 четверти

Сравнительный анализ 2 и 3 четверти показал – 23%, 3 и 4 четверти 31,5%. Сравнительный анализ показан на рисунке 5.

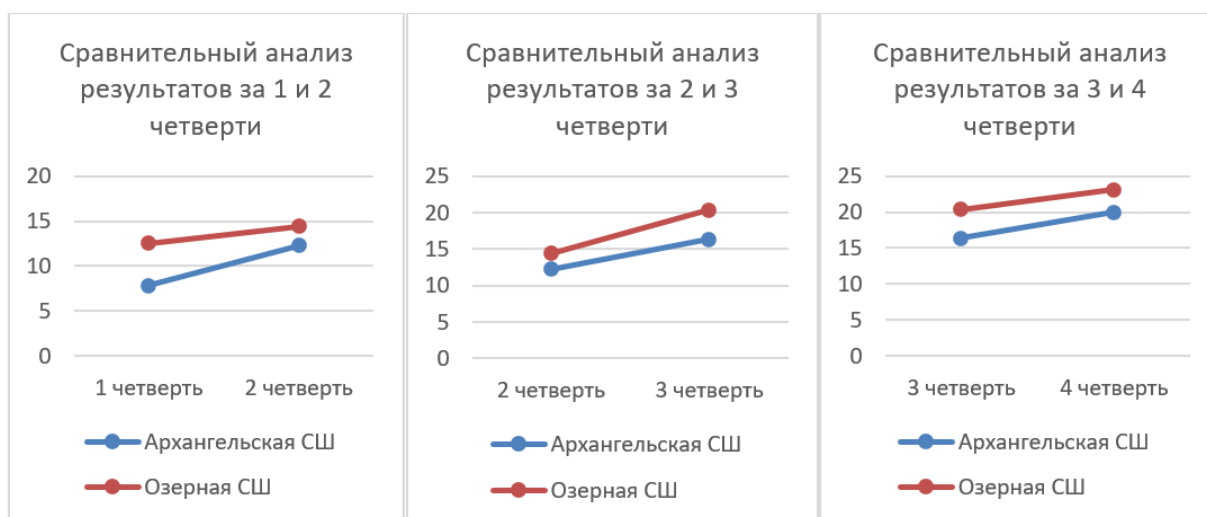


Рисунок 5. Сравнительный анализ результатов по четвертям

Особое внимание школ уделялось проведению контрольных срезов на базе U-study. Методическое объединение школы опиралось на данные этой организации для того, чтобы усилить подготовку по тем разделам, которые западали при тестировании у обучающихся. В сравнительной характеристике, представленной на рисунке 6, можно увидеть, что тенденция к росту между 1 и 4 контрольным срезом составила 67%, что является очень хорошим показателем.

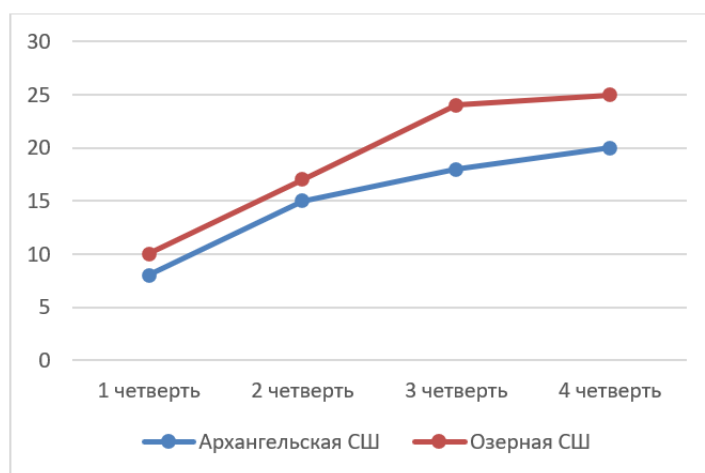


Рисунок 6. Результаты контрольных срезов на базе U-study

Дискуссия

В практическом плане изучался вопрос влияния применения онлайн-платформ на эффективность подготовки к ЕНТ по предмету физика. По итогам исследования выявлено положительное влияние используемых технологий на результат итогового тестирования. Такой результат можно интерпретировать следующим образом. Во-первых, применение онлайн-платформ способствует улучшению навыков по работе с тестовыми заданиями в онлайн-режиме, обучающиеся получают практический навык по работе с электронным форматом тестирования. У них исчезают опасения и страхи при работе с компьютером, снижается психологическая нагрузка. Во-вторых, учащиеся получают ценнейший навык по регламентированию времени на все время прохождения теста, так как одна из самых распространённых жалоб абитуриентов – это катастрофическая нехватка времени на прохождение теста [8,9].

Способ совершенствования методики преподавания физики, подразумевающий использование интерактивных методов должен осуществляться непосредственно под контролем учителя, что в условиях дистанционного обучения становится почти недостижимым, поскольку каждый ученик по-своему интерпретирует тот или иной метод, несмотря на прилагаемые инструкции по выполнению заданий с использованием того или иного метода [10,11].

Выводы

Обобщая вышеизложенное следует отметить, что подготовка к ЕНТ в рамках факультатива и при помощи онлайн-платформ недостаточна. Для получения высоких результатов на ЕНТ необходима планомерная и кропотливая работа с каждым учеником начиная с 7 класса в момент вхождения физики в образовательный процесс средней школы. Ведь не зря учебные программы по предмету «Физика» согласно обновленной модели образования основаны на спиральной модели с повторным рассмотрением знаний и понятий по мере перехода учащихся из класса в класс. Однако на примере проведенного исследования при дистанционном формате обучения такой подход к процессу подготовки к ЕНТ даёт свой положительный эффект. При этом надо иметь в виду, что эффективность такой технологии зависит и еще от вовлеченности и заинтересованности обучающихся в достижении высоких результатов при сдаче вступительного тестирования.

Список использованных источников:

- 1 Казахстан - 2030 Процветание, безопасность и улучшение благосостояния всех казахстанцев. Послание Президента страны народу Казахстана 1997 года
- 2 Инструктивно-методическое письмо. г. Нур-Султан – 2020. Об особенностях учебного процесса в организациях образования Республики Казахстан в 2020-2021 учебном году: Инструктивно-методическое письмо. – Нур-Султан: Национальная академия образования им. И. Алтынсарина, 2020. – 426 с.
- 3 Балаева И.А. Методика и практика подготовки к ЕНТ по физике: опыт и трудности. Республиканский информационно-методический центр «Просвещение» - 2016 г.
- 4 Gurzhiy V.S. Nikolaenko V.N., Chaban V.I. On the role of the course «Technical Design and Modeling» in the education of a physics teacher. Proceedings of the International Correspondence Scientific and Methodological

Conference. *Initiation and formation of strategic vectors for the development of education*. 2015

5 Национальный доклад-2020 «О состоянии и развитии системы образования Республики Казахстан по итогам 2020 года». Министерство образования и науки Республики Казахстан. АО «Информационно-аналитический центр», 2021

6 Glaguzova M.A. *Development of students' creative abilities and their interest in physics//Physics at school*. 2011. No. 3. pp. 23-26

7 Shakhmaev N.M. *Technical means of distance learning*. М. – «Knowledge», 2010. - 276 p.

8 Шаров В.С. Дистанционного обучения: форма, технология, средство. Текст научной статьи по специальности «Науки об образовании» <https://cyberleninka.ru/article/n/distantionnoe-obuchenie-forma-tehnologiya-sredstvo>

9 Панферов В.Н., Безгодова С.А., Васильева С.В., Иванов А.С., Микляева А.В. Эффективность обучения и академическая мотивация студентов в условиях онлайн-взаимодействия с преподавателем (на примере видеолекции) // Вызовы пандемии COVID-19: психическое здоровье, дистанционное образование, интернет-безопасность: сб. материалов. Т. 1. / Составители: В.В. Рубцов.

10 Michkov P.P. *About the culture of thinking//Physics at school*, No. 6. 2018. P. 50-58.

11 Klarin M.V. *Innovations in education. Metaphors and models*. М.: «Наука», 2017. - 398 p.

References:

1 Kazakhstan - 2030 Prosperity, security and improvement of the well-being of all Kazakhstanis. *Message of the President of the country to the people of Kazakhstan in 1997*

2 *Instructional and methodical letter. Nur-Sultan – 2020. About the features of the educational process in educational institutions of the Republic of Kazakhstan in the 2020-2021 academic year: Instructional and methodological letter*. – Nur-Sultan: I. Altynsarin National Academy of Education, 2020. – 426 p.

3 Balaeva I.A. *Methodology and practice of preparation for the UNT in physics: experience and difficulties*. Republican Information and Methodological Center «Enlightenment» – 2016

4 Gurzhiy V.S. Nikolaenko V.N., Chaban V.I. *On the role of the course «Technical Design and Modeling» in the education of a physics teacher. Proceedings of the International Correspondence Scientific and Methodological Conference. Initiation and formation of strategic vectors for the development of education*. 2015

5 *National Report 2020 "On the state and development of the education system of the Republic of Kazakhstan by the end of 2020"*. Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. JSC «Information and Analytical Center», 2021

6 Glaguzova M.A. *Development of students' creative abilities and their interest in physics//Physics at school*. 2011. No. 3. pp. 23-26

7 Shakhmaev N.M. *Technical means of distance learning*. М. – «Knowledge», 2010. - 276 p.

8 Sharov V.S. *Distance learning: form, technology, means. The text of a scientific article on the specialty «Sciences of education»* <https://cyberleninka.ru/article/n/distantionnoe-obuchenie-forma-tehnologiya-sredstvo>

9 Panferov V.N., Bezgodova S.A., Vasilyeva S.V., Ivanov A.S., Miklyaeva A.V. *The effectiveness of teaching and academic motivation of students in terms of online interaction with a teacher (on the example of a video lecture) // Challenges of the COVID-19 pandemic: mental health, distance education, Internet security: collection of materials*. Vol. 1. / Compiled by: V.V. Rubtsov.

10 Michkov P.P. *About the culture of thinking//Physics at school*, No. 6. 2018. P. 50-58.

11 Klarin M.V. *Innovations in education. Metaphors and models*. М.: «Наука», 2017. - 398 p.