

ISSN 2959-5894

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
№3(83)

Алматы, 2023

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

ХАБАРШЫ
«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №3 (83), 2023 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, 2023

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

Басуға 27.09.2023 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 36,25 е.б.т.
Таралымы 300 дана. Тапсырыс 621.

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

Бекбауова А.У., Талипова М.Ж., Иманчиев А.Е., Курмангалиев Е.К., Утеуова Н.Ж.

Дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің кең мағынадағы шешімдерін тұрғызу..... 7

Ryskan A.R., Ergashev T.G.

Construction of a solution to a boundary value problem with N-D conditions for the four-dimensional Gellerstedt equation 16

Темешева С.М., Мұқаш М.

Бекітілмеген мезетте импульстік әсері бар есеп туралы 25

ЕСЕПТЕУ МАТЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ
МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

COMPUTER MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

Akhmetova O.S., Issayev S.A.

Application of the fictitious region method to solving a model oceanology problem 34

Babich-Gaury A.V., Babich V.V.

Application of the dynamic standard model in operational planning 43

Жаксыгулова Д.Д., Рахметуллина С.Ж., Гнатюк С.А.

Исследования моделей беспроводных сенсорных сетей для системы мониторинга на основе ИОТ 51

Турусбекова У.К., Муратбеков М.М.,

Алтынбек С.А., Ахатова Ж.Е.
Исследование свойств структур рекурсивных циклов первообразных корней 59

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ
ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND
MECHANICAL SYSTEMS

Беков С.С., Алтайбаева А.Б., Мырзакулов К.Р.

Фермиондық өрісі бар $f(Q, B)$ гравитациясының әсері және козғалыс теңдеулері 67

Tolepbergen A.G., Mukamedenkyzy V., Moldabekova M.S., Mirmanova D.S.

Formation of convective flows in three-component gas mixtures at different diffusion channel radius 74

Казахский национальный
педагогический университет
имени Абая

ВЕСТНИК
Серия «Физико-математические науки»
№3 (83), 2023 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, 2023

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

Подписано в печать 27.09.2023.
Формат 60x84 1/8. Об. 36,25 уч.-изд.л.
Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

- Аблякиева А., Омарбаева Б., Бостанов Б., Адиева А.
7-сынып оқушыларының геометриядан салу есептерін
түсінуіне Geogebra бағдарламасының әсері 81
- Зыкрина С.Ж. Құрылымдалған есептерді шығарудың
оқушылардың зерттеушілік дағдыларын дамытуға әсері 88
- Ханжарова Б.С. Исследование некоторых алгебраических и
трансцендентных функций без использования производной ... 97
- Шмигирилова И.Б. Готовность будущих учителей
математики решать задачи различными способами 105

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

- Amirkhanova D.S., Mamyrbayev O.Zh.
Cryptographic analysis of the scheme of polylinear cryptography 114
- Асилбеков Б.К., Қалжанов Н.Е.,
Болысбек Д.Ә., Узбекалиев К.Ш.
Исследование эффективности алгоритмов машинного
обучения на основе данных различных горных пород 123
- Есенгалиева Ж.С., Есенгалиева А.С.,
Биктимир Р.Б., Есенғали С.С.
Управление большими данными с помощью методов
машинного обучения 137
- Карипжанова А.Ж., Қожахмет Қ.Т.,
Жумалиева Р.З., Өмірәлі А.М., Баязитов Д.А.
Повышение безопасности расщепленных данных при
использовании алгоритмов многомерной четности 145
- Назырова А.Е., Бекманова Г.Т.,
Муканова А.С., Калдарова М.Ж., Тасболатұлы Н.
Білім беру бағдарламасының онтологиялық моделін құру 158
- Сакипов Н.З., Вихнин А.Г.,
Сейдилдаева А.К., Беркутбаева Р.А., Сегизбаева Р.У.
Сетевое представление текстов баз знаний в экспертных
системах 168
- Çelik Y., Findık O., Alaca Y., Assanova B., Sharmukhanbet S.
Implementation of the artificial immune system algorithm for
security information and event management systems 176

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.
БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.
INFORMATIZATION OF EDUCATION

- Абдиев К.С., Ескендинова Д.М.,
Жасандықызы М., Примбетова Г.С.
О новых подходах в оценке квалификации ИТ-специалистов 188

Abai Kazakh National
Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№3 (83), 2023.

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. Lisicin 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, 2023

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 27/09/2023
Format 60x84 1/8. Vol. 36,25 p.
Printing 300 copies. Order 621.

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

Айтымова А.М., Абильдинова Г.М., Кажиякпарова Ж.С., Карымсакова А.Е. Формирование цифровой компетентности дошкольников	201
Ахметов Б.С., Ошанова Н.Т., Ахметов Б.Б. Цифровая аналитика как фактор повышения качества высшего образования	209
Исабаева Д.Н., Рахимжанова Л.Б., Култан Я., Какенбекова А.А. Определение и отбор элементов цифрового контента по курсу «Цифровая грамотность» для мобильного приложения	216
Қаратаева М.С., Беркімбаев К.М. STEM технологиясын оқытудың әдіс-тәсілдері	227
Раманкулов Ш.Ж., Битибаева Ж.М., Құрбанбеков Б.А., Мұсахан Н., Паттаев А. STEM – Мектеп физика курсының «энергия» ұғымын калыптастырудың технологиясы ретінде	237
Салғараева Г.И., Базарбаева А.М. Ақпараттық технологиялар саласындағы практикаға бағытталған оқыту зерттеулеріне жүйелі шолу	246
Tileubay S., Doszhanov B., Almenayeva R., Zharmenova B., Mussagulova G. Organization of mobile learning as a innovation technology in education	253
Тазабекова П.Қ., Нурбекова Ж.К., Аймичева Г.И., Найманова Д.С. Систематический обзор исследований применения технологии дополненной реальности в образовании	262
Шекербекова Ш.Т., Ревшенова М.И., Жабаев Е.Х. Актуальные вопросы преподавания робототехники в школе ..	270
Ғалымды еске алу. Уәлиев Ғахип Уәлиұлы – ғалым, ұстаздардың ұстазы	277

МАТЕМАТИКА

MATHEMATICS

МРНТИ 27.31.15

УДК 517.951

10.51889/2959-5894.2023.83.3.001

А.У. Бекбауова ^{1*}, М.Ж. Талипова ¹, А.Е. Иманчиев ¹, Е.К. Курманғалиев ¹, Н.Ж. Утеуова ²

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

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: mirra478@mail.ru

ДЕРБЕС ТУЫНДЫЛЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІНІҢ КЕҢ МАҒЫНАДАҒЫ ШЕШІМДЕРІН ТҰРҒЫЗУ

Аңдатпа

Мақалада бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда кең мағынадағы шешімдерінің бар болуының жеткілікті шарттарын анықтау сұрақтары қарастырылған. Дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер гидроаэромеханиканың, химиялық кинетиканың, каталитикалық реакциялар теориясының әр түрлі қолданбалы есептерін модельдейді. Бастапқы функциялар қаншалықты жатық болса да, уақыт өтуіне қарай бірінші ретті дербес туындылы теңдеулердің классикалық шешімдері қандай да бір ерекшеліктерге ие болатыны белгілі, осы мәселе бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің классикалық шешімдерін кеңейту қажеттілігін туғызды. Мақалада бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша қойылған периодты шарттарда кең мағынадағы шешімнің бар және жалғыз болуының қажетті шарты табылды. Біртекті және біртекті емес дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің фундаменталь шешімі тұрғызылып, шешімнің қойылған айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды қанағаттандыратындығы көрсетілді, шешімнің шектелгендігі, жалғыздығы, қандай шарттарда бар болатындығы тұжырымдар арқылы берілді.

Түйін сөздер: дербес туындылы теңдеулер жүйесі, қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесі, кең мағынадағы шешімдер, периодты шешімдер, фундаменталь шешім.

Аннотация

А.У. Бекбауова ¹, М.Ж. Талипова ¹, А.Е. Иманчиев ¹, Е.К. Курманғалиев ¹, Н.Ж. Утеуова ²

¹Нактыобинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан,

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ В ШИРОКОМ СМЫСЛЕ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

В статье рассмотрены вопросы существования и единственности решения в широком смысле системы дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка с одинаковой главной частью с периодическими по части переменных условиями. Во многих математических моделях, особенно в теории «мелкой воды», движение несжимаемой жидкости в неглубоких каналах, плоское установившееся сверхзвуковое течение сжимаемого газа возникают дифференциальные уравнения в частных производных. Классические решения нелинейных уравнений обладают свойством неограниченного возрастания величины производных, которое называют градиентной катастрофой (ударная волна, образованная из волны сжатия). Смысл этого свойства состоит в том, что при сколь угодно гладких начальных значениях первые производные решения остаются ограниченными, лишь в течение конечного времени. Поэтому возникает насущная необходимость расширить понятие классических решений систем уравнения в частных производных первого порядка. В статье установлены достаточные условия существования и единственности решения в широком смысле систем уравнений в частных производных с одинаковой главной частью с периодического по части переменных условиями.

Ключевые слова: системы уравнения в частных производных, обыкновенные дифференциальные уравнения, решения в широком смысле, периодические решения, фундаментальное решение.

Abstract

**CONSTRUCTION OF SOLUTION IN BROAD SENSE OF SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS
IN PRIVATE DERIVATIVES**

Bekbauova A.U.¹, Talipova M.Zh.¹, Imanchiev A.E.¹, Kurmangaliev E.K.¹, Uteuova N.Zh.²

¹*Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan,*

²*Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

The article considers the issues of existence and uniqueness of the solution in the broad sense of a system of differential equations in partial derivatives of the first order with the same main part with periodic conditions in part of variables. In many mathematical models, especially in the theory of "fine water," the movement of an incompressible liquid in shallow channels, a flat steady supersonic flow of a compressible gas, differential partial differential equations arise. Classical solutions of nonlinear equations have the property of an unlimited increase in the magnitude of derivatives, which is called a gradient catastrophe (a shock wave formed from a compression wave). The meaning of this property is that with arbitrarily smooth initial values, the first derivative solutions remain limited, only for a finite time. Therefore, there is an urgent need to expand the concept of classical solutions to first-order partial differential equation systems. The article establishes sufficient conditions for the existence and uniqueness of the solution in the broad sense of systems of partial differential equations with the same main part with periodic conditions in terms of variables.

Keywords: partial differential equation systems, ordinary differential equations, solutions in the broad sense, periodic solutions, fundamental solution.

Кіріспе

Көптеген математикалық модельдерде, әсіресе «таяз су» теориясында, терең емес арналардағы сығылмайтын сұйықтықтың қозғалысында, сығылатын газдың тегіс, тұрақты дыбыстан жоғары ағындарын сипаттауда, дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйелері қолданылады.

Квазисызықты гиперболалық теңдеулердің 3D телеграфты теңдеулерде қолданысы, сонымен қатар бірінші ретті гиперболалық дербес туындылы дифференциалдық теңдеулердің тербелістер комбинациясын оптимизациялап, ұшқышсыз ұшу аппаратының каналдарын жоспарлауда қолданыстары, және де әртүрлі физикалық құбылыстарда қолданыстары қазіргі таңда өзекті мәселелердің бірі, көптеген зерттеулерде зерттелген [1-6].

А. Пуанкаренің үш денеге арналған есебі мен А.М.Ляпуновтың кез-келген механикалық жүйенің қозғалысы туралы есептерінде дифференциалдық теңдеулердің периодты шешімдері теориясының негізі салынды [7-8].

А. Ляпунов, А. Пуанкаремен қатар периодты және периодты дерлік тербелістер теориясының терең де мазмұнды зерттеулері және сызықты емес дербес туындылы дифференциалдық теңдеулердің практикалық қолданыстары туралы көптеген авторлар жұмыстарында зерттелген, сызықты емес тербелістердің жалпы теориясы мен периодты коэффициентті сызықты жүйелердің классикалық теориясы Н.М. Крылов, Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский, А.М. Самойленко және т.б. ғалымдар зерттеулерінде қарастырылды [9-10].

В.Х. Харасахал [11] жұмысында оң жағы квазипериодты қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесінің көптеген сұрақтары дербес туындылы дифференциалдық теңдеулерге байланыстырылып қарастырылған. Бұл байланыс П. Боль мен Г. Бор ұсынған, бір айнымалылы квазипериодты функция мен көпайнымалылы периодты функция арасындағы байланыстың нәтижесі болып табылады.

Д.У. Умбетжанов және т.б. ғалымдар еңбектерінде сызықты емес қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесінің квазипериодты шешімдерінің табылатындығы туралы критерий алынып, бұл нәтижелер банах кеңістігіндегі шексіз жүйелерге, интегро-дифференциалдық теңдеулер жүйесіне, қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне қолданылған [12-13].

Сызықты емес теңдеулердің классикалық шешімдері туындылардың шексіз өсу қасиетіне ие, ол әдетте градиенттік апат (сығу толқынынан пайда болған соққы толқыны) деп аталады. Бұл қасиет, қаншалықты жатық бастапқы мәндер үшін шешімнің бірінші туындылары тек шектеулі уақыт ішінде шектелген болып қалатындығын көрсетеді. Бірінші ретті дербес туындылы теңдеулердің классикалық шешімдерінде бастапқы функциялар қаншалықты жатық болса да, уақыт өтуіне қарай ерекшеліктер пайда болуы мүмкін. Сондықтан да бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің классикалық шешімдерін кеңейту қажеттілігі туындайды. Квазисызықты екі тәуелсіз айнымалылы гиперболалық типті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің Фридрихс бойынша кең мағынадағы шешімдері зерттеушілер еңбектерінде қарастырылған [14-15].

Келесі жұмыстарда [16-17], бірінші ретті шектелген және шектелмеген дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша көппериоды кең мағынадағы шешімдерінің анықтамасы берілген, шешімдер тұрғызылып, қандай шарттарда айнымалылардың бір бөлігі бойынша көппериоды кең мағынадағы шешім классикалық шешім болатындығы көрсетілген.

Есептің қойылымы мен зерттеу әдісі

Бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесі қарастырылады:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \sum_{j=1}^m a_j(t, x, y) \frac{\partial u}{\partial x_j} + \sum_{j=1}^k b_j(t, x, y) \frac{\partial u}{\partial y_j} = P(t, x, y)u + f(t, x, y) \quad (1)$$

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

мұндағы $t \in (-\infty, +\infty)$ $x = (x_1, \dots, x_m) \in R^m$, $y = (y_1, \dots, y_k) \in R^k$, $a(t, x, y)$, $b(t, x, y)$ – сәйкесінше m, k өлшемді үздіксіз вектор-функциялар, олар периодты және жатықтық шарттарды қанағаттандырады

$$\begin{aligned} a(t, x + \theta, y) &= a(t, x, y) \in C_{t,x,y}^{(0,1,1)}(R \times R^m \times R^k), \\ b(t, x + \theta, y) &= b(t, x, y) \in C_{t,x,y}^{(0,1,1)}(R \times R^m \times R^k), \end{aligned} \quad (3)$$

вектор-функциялардың евклидтік метрикасын максималдайтын норма бойынша шектелген

$$\begin{aligned} \|a\| \leq \alpha_0, \quad \left\| \frac{\partial}{\partial x} a \right\| \leq \alpha_1, \quad \left\| \frac{\partial}{\partial y} a \right\| \leq \alpha_2, \\ \|b\| \leq \beta_0, \quad \left\| \frac{\partial}{\partial x} b \right\| \leq \beta_1, \quad \left\| \frac{\partial}{\partial y} b \right\| \leq \beta_2, \end{aligned} \quad (4)$$

θ - период, $\alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – кейбір оң тұрақтылар, $u = (u_1, \dots, u_{n_1})$ – ізделінді вектор-функция, $P(t, x, y)$ – $n_1 \times n_1$ – матрица, бұл матрица айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шартты қанағаттандырады және шектелген:

$$\begin{aligned} \|P\| \leq k_0 = \text{const} > 0, \\ P(t, x + \theta, y) = P(t, x, y) \in C(R \times R^m \times R^k), \end{aligned} \quad (5)$$

$f(t, x, y)$ – n_1 - вектор-функция, айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шартты қанағаттандырады

$$f(t, x + \theta, y) = f(t, x, y) \in C(R \times R^m \times R^k), \quad (6)$$

және шектелген

$$\|f\| \leq K = \text{const} > 0. \quad (7)$$

$\mu(x, y) = (\mu_1(x, y), \dots, \mu_n(x, y))$ n – вектор-функция, x, y бойынша $R^m \times R^k$ шектелген және

$$\mu(x + \theta, y) = \mu(x, y) \in C(R^m \times R^k), \quad \text{функцияның нормасы } \|\mu\| = \sup_{R^m \times R^k} \sqrt{\sum_{j=1}^n \mu_j^2(x, y)}.$$

Есептің қойылымы: (1) бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды және бастапқы шартты қанағаттандыратын кең мағынадағы шешімдерінің бар болуы және жалғыздығының қажетті шартын анықтау.

Қойылған есепті шешу үшін алдымен айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды қанағаттандыратын кең мағынадағы шешімнің анықтамасы беріліп, алдымен біртекті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесі қарастырылып, одан соң біртекті емес дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімі тұрғызылады.

Характеристикалар әдісін қолдана отыра, келесі қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін қарастырамыз :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a(t, x, y) \\ \frac{dy}{dt} = b(t, x, y) \end{cases} \quad (8)$$

Бұл жүйенің $(0, x_0, y_0) \in R \times R^m \times R^k$ бастапқы берілулермен, кез-келген $t \in R$ үшін, (3), (4) шарттарда, анықталған шешімі бар болады:

$$\begin{cases} x = \lambda(t, 0, x_0, y_0), \\ y = \xi(t, 0, x_0, y_0) \end{cases} \quad (9)$$

Бұл шешім жалғыздық қасиетке ие болады [10]. Бұл қисықтар (1) дербес туындылы дифференциалдық жүйесінің характеристикалары деп аталады және келесі интегралдық теңдеулер жүйесін қанағаттандырады

$$\begin{cases} \lambda(t, 0, x_0, y_0) = x_0 + \int_{t_0}^t a[s, \lambda(s, 0, x_0, y_0), \xi(s, 0, x_0, y_0)] ds, \\ \xi(t, 0, x_0, y_0) = y_0 + \int_{t_0}^t b[s, \lambda(s, 0, x_0, y_0), \xi(s, 0, x_0, y_0)] ds, \end{cases}$$

Одан әрі сызықты бірінші ретті біртекті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесін қарастырайық:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \sum_{j=1}^m a_j(t, x, y) \frac{\partial u}{\partial x_j} + \sum_{j=1}^k b_j(t, x, y) \frac{\partial u}{\partial y_j} = P(t, x, y)u \quad (10)$$

Анықтама 1. $R \times R^m \times R^k$ облысында үздіксіз $u(t, x, y)$ функциясы x айнымалысы бойынша θ периодты, барлық айнымалылар бойынша шектелген болса және $\lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)$ характеристикалар бойында t бойынша үздіксіз дифференциалданатын болса, онда $u(t, x, y)$ функциясы (10) сызықты біртекті жүйенің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды қанағаттандыратын кең мағынадағы шешімі деп аталады. Сонымен қатар, t бойынша толық туынды үшін келесі шарт орындалады:

$$\frac{d\tilde{u}}{dt} = \tilde{P} \cdot \tilde{u}, \quad (10_1)$$

мұндағы $\tilde{u} = u(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0))$, $\tilde{P} = P(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0))$.

(10) сызықты біртекті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің кең мағынадағы айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды қанағаттандыратын фундаментальды шешімін тұрғызамыз, ол үшін интегралдық теңдеуді қарастырайық

$$U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) = E + \int_{t_0}^t P(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times \\ \times U(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) ds. \quad (11)$$

(11) теңдеуді шешу үшін тізбектей жуықтау әдісін қолданамыз

$$U^{(0)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) = E, \\ U^{(v)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) = E + \int_{t_0}^t P(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times \\ \times U^{(v-1)}(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) ds, \quad (11_1)$$

($v = 1, 2, \dots$). $t \geq 0$ болғанда қатарлардың жинақтылығын көрсетейік

$$E + \sum_{v=1}^{\infty} [U^{(v)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) - U^{(v-1)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))] \quad (12)$$

Әрбір жуықтауды (5) шартты ескере отыра бағалайық, онда

$$|U^{(0)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| = 1, \quad (12_0)$$

$$|U^{(1)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq 1 + k_0 |t|, \quad (12_1)$$

$$|U^{(2)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq 1 + k_0 |t| + k_0^2 \frac{|t|^2}{2!}, \quad (12_2)$$

Математикалық индукция әдісін қолдана отыра, келесі өрнекті аламыз

$$|U^{(v)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq \sum_{\alpha=0}^v \frac{(k_0 t)^\alpha}{\alpha!}, \quad t \geq 0. \quad (12_v)$$

(12_v) ескере отыра, кез-келген V үшін мына бағалауды аламыз

$$|U^{(v)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq e^{k_0 t}, \quad t \geq 0, \quad (13)$$

($v = 1, 2, \dots$). $t \geq 0$ жағдайда мына қатарлардың жинақтылығын зерттесек және $t \geq 0$ жағдайда бағаласақ, онда

$$|U^1(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) - U^0(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq k_0 t, \quad t \geq 0 \quad (13_1)$$

$$|U^2(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) - U^1(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq \frac{(k_0 t)^2}{2!} \quad (13_2)$$

Математикалық индукция әдісін қолданып, келесі өрнекті табамыз

$$|U^{(v)}(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) - U^{(v-1)}(0, t, x, y, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq \frac{(k_0 t)^v}{v!}, \quad t \geq 0 \quad (13_v)$$

(13_v) теңсіздіктен, (12) қатардың бірқалыпты жинақталатыны шығады, $t \geq t_0 = 0$ болғанда қатар R сандық осьте жинақталады, және де (13) ескерсек шекті матрица

$$U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) = \lim_{\nu \rightarrow \infty} U^{(\nu)}(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) \quad (14)$$

мына бағалауды қанағаттандырады

$$|U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq e^{k_0 t}, \quad t \geq 0 \quad (15)$$

(15) матрицаның t бойынша характеристиканың бойында дифференциалданатынын көрсетейік, ол үшін (9) шешімнің бойында келесі интегральдық теңдеуді қарастырамыз

$$\begin{aligned} U(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0), 0, x_0, y_0) &= E + \\ &+ \int_{t_0}^t P(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0), s, \lambda(s, 0, x_0, y_0), \xi(s, 0, x_0, y_0)) \times \\ &\times U(s, \lambda(s, 0, x_0, y_0), \xi(s, 0, x_0, y_0), 0, x_0, y_0) ds, \end{aligned} \quad (16)$$

тізбек бірқалыпты жинақталатындықтан, теңдеудің оң жағы t бойынша дифференциалданады. Демек, (14) шекті матрица үздіксіз және t бойынша толық туындысы келесідей:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} U(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0), 0, x_0, y_0) &= P(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)) \times \\ &\times U(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0), 0, x_0, y_0) \end{aligned} \quad (17)$$

Әрі қарай, (16) теңдеуде x_0, y_0 айнымалыларын дифференциалданатын $x_0 = \lambda(0, t, x, y)$, $y_0 = \xi(0, t, x, y)$ вектор-функциялармен алмастырамыз, сонда барлық айнымалылар бойынша үздіксіз және характеристикалар бойында үздіксіз дифференциалданатын $U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))$ матрицасын аламыз.

Демек, жоғарыда көрсеткендерді ескерсек, $U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))$ матрицасы (16) интегральдық теңдеуді қанағаттандырады, ал характеристикалар бойында (17) дифференциалдық теңдеуді қанағаттандырады.

Олай болса, $U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))$ матрицасы (10) сызықты біртекті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің кең мағынадағы шешімі болады, сонымен бірге (3), (5) ескерсек, айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты болады.

$U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))$ матрицасы келесі теңсіздікті қанағаттандырады

$$|U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))| \leq \Gamma e^{-\gamma t} \quad (18)$$

мұндағы $\Gamma = const \geq 1$, $\gamma > 0, t \geq 0$.

Олай болса (10) бастапқы шартты қанағаттандыратын шешімді келесідей өрнектеуге болады

$$u(t, x, y) = U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) \times \mu(\lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) \quad (19)$$

Олай болса, (10) біртекті жүйенің нольдік шешімнен басқа айнымалыларының бір бөлігі бойынша периодты кең мағынадағы шешімі жоқ.

Тұжырым 1. (3), (4), (5) және (18) шарттары орындалғанда (10) бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда нольдік шешімнен басқа кең мағынадағы шешімдері табылмайды.

Әрі қарай (1) біртекті емес бірдей бас бөлікті сызықты дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда кең мағынадағы шешімдерін тұрғызайық.

Анықтама 2. $R \times R^m \times R^k$ облысында үздіксіз $u(t, x, y)$ функциясы x айнымалысы бойынша θ периодты, барлық айнымалылар бойынша шектелген болса және $\lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)$ характеристикалар бойында t бойынша үздіксіз дифференциалданатын болса, онда $u(t, x, y)$ функциясы (10) сызықты біртекті жүйенің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды қанағаттандыратын кең мағынадағы шешімі деп аталады. Сонымен қатар, t бойынша толық туынды үшін келесі шарт орындалады:

$$\frac{d\tilde{u}}{dt} = \tilde{P}\tilde{u} + \tilde{f} \quad (20)$$

мұндағы

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= u(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)), \quad \tilde{P} = P(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)), \\ \tilde{f} &= f(t, \lambda(t, 0, x_0, y_0), \xi(t, 0, x_0, y_0)). \end{aligned}$$

(1) жүйенің Коши шартын қанағаттандыратын шешімі бар және ол жалғыз болады, бұл шешімді келесі өрнекпен өрнектейміз:

$$\begin{aligned} u(t, x, y) &= U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) \cdot \mu(\lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y)) + \\ &+ \int_0^t U(t, x, y, s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) f(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) ds \end{aligned} \quad (21)$$

мұндағы $U(t, x, y, 0, \lambda(0, t, x, y), \xi(0, t, x, y))$ – (10) біртекті сызықты жүйенің фундаментальды шешімі.

Бастапқы функцияны (1) жүйенің кең мағынадағы айнымалылардың бір бөлігі бойынша периоды шарттарды қанағаттандыратын шешімі болатындай етіп таңдау жасаймыз. Онда ізделінді шешім келесі түрде болады

$$u^*(t, x, y) = \int_{-\infty}^t U(t, x, y, s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times f(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) ds \quad (22)$$

Шешім келесі бағалауды қанағаттандырады:

$$\|u^*(t, x, y)\| \leq \frac{\Gamma}{\gamma} \|f(t, x, y)\| \quad (23)$$

(22) вектор-функция үшін (18) бағалау мен (6), (7) шарттарды ескерсек, онда бұл вектор-функция $R \times R^m \times R^k$ анықталған x бойынша (θ) - периодты, барлық айнымалылар бойынша шектелген, характеристикалардың бойында (20) қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін қанағаттандырады.

Егер (1) жүйенің (22) басқа x бойынша (θ) - периодты, барлық айнымалылар бойынша шектелген кең мағынадағы шешімі бар деп есептесек, онда кең мағынадағы шешімдердің айырымы (10) біртекті жүйенің нольден өзгеше айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты кең мағынадағы шешімдері болар еді, ал Тұжырым 1 ескерсек, онда қарама-қайшылыққа тап болар едік.

Демек, (1) бірдей бас бөлікті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шартты қанағаттандыратын кең мағынадағы шешімі бар және жалғыз болады.

Тұжырым 2. Айталық (3)-(7) және (18) шарттар орындалсын. Онда (1) бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарды және бастапқы шартты қанағаттандыратын кең мағынадағы жалғыз шешімі бар және ол (22) өрнекпен өрнектеледі, (23) бағалауды қанағаттандырады.

Қорытынды

Мақалада бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда кең мағынадағы шешімдерінің бар болуы және жалғыздығының қажетті шарттары қарастырылған. Бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда кең мағынадағы шешімдерінің анықтамасы берілген. Біртекті және біртекті емес сызықты бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулердің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шартты қанағаттандыратын шешімдері тұрғызылған. Бірдей бас бөлікті бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты шарттарда кең мағынадағы шешімдерінің бар болуы мен жалғыздығының қажетті шарты алынған.

Жұмыс 2023-2025 жылдарға арналған «Айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты және көпнүктелі шарттарда дербес туындылы теңдеулер жүйесінің кең мағынадағы шешімдері» ИРН АР19675358 жобасы бойынша ғылыми зерттеулерді қаржыландыру қаражаты есебінен орындалды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Oke Davies Adeyemo, Chaudry Masood Khalique. Shock waves, periodic, topological kink and singular soliton solutions of a new generalized two-dimensional nonlinear wave equation of engineering physics with applications in signal processing, electromagnetism and complex media // Alexandria Engineering Journal, 18 May 2023 Volume 73, P. 1-780, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.04.049>
- 2 Lohani Md. Badrul Alam, Jiang Xingfang, Abdulla-Al-Mamun, Samsun Nahar Ananna. Investigation of lump, soliton, periodic, kink, and rogue waves to the time-fractional phi-four and (2+1) dimensional CBS equations in mathematical physics // Partial Differential Equations in Applied Mathematics, <https://doi.org/10.1016/j.padiff.2021.100122>
- 3 R. K. Mohanty, Bishnu Pada Ghosh, Urvashi Arora. High precision implicit method for 3D quasilinear hyperbolic equations on a dissimilar domain: Application to 3D telegraphic equation // Computers & Mathematics with Applications, Volume 122, 15 September 2022, Pages 93-116
- 4 Chong Tian, Kuo-Chi Chang, JinSong Chen. Application of hyperbolic partial differential equations in global optimal scheduling of UAV // Alexandria Engineering Journal, Volume 59, Issue 4, August 2020, P. 2283-2289, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.02.013>
- 5 Somveer Singh, Vijay Kumar Patel, Vineet Kumar Singh, Emran Tohidi. Application of Bernoulli matrix method for solving two-dimensional hyperbolic telegraph equations with Dirichlet boundary conditions // Computers & Mathematics with Applications, 1 April 2018, <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2017.12.003>
- 6 Alexei Rybkin. Method for solving hyperbolic systems with initial data on non-characteristic manifolds with applications to the shallow water wave equations // Applied Mathematics Letters, July 2019, <https://doi.org/10.1016/j.aml.2019.02.003>
- 7 Пуанкаре А. Новые методы небесной механики. М.: Наука, 1971. 772 с.
- 8 Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.; Л.: ГИИТЛ, 1950. 472 с.
- 9 Самойленко А.М., Теплінський Ю.В., Пасюк К.В. Елементи математичної теорії еволюційних рівнянь у банахових просторах. Київ, 2008.
- 10 Boichuk A., Pokutnij A. Bounded solutions of linear perturbed differential equations in a Banach space // Tatra Mt. Math. Publ. 2007. V. 39. P. 1-12.
- 11 Харасахал В.Х. Почти периодические решения обыкновенных дифференциальных уравнений. – Алма-Ата: Наука, 1970.
- 12 Умбетжанов Д.У. Почти периодические решения эволюционных уравнений. Алма-Ата: Наука, 1979. -179 с
- 13 Sartabanov Zh.A., Zhumagaziyev 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, No2(98), 125-140
- 14 Rozhdestvensky B. L., Yanenko N. N., Quasi-linear systems equations and their applications to gas dynamics, Nauka, M., 1978, 687 p.
- 15 Абдикаликова Г.А. О разрешимости одной нелокальной краевой задачи. //Математический журнал. ИМ МОН РК - 2005. - Т. 5. - №3 (17). - С.5-10.
- 16 Bekbauova A., Baibaktina A., Omarova B., Abilmazhinova B., Sultangaliyeva L., Erzhanova G., Tleubergenova M., Periodic solution of a single system of differential equations in partial derivatives // International journal of advanced and applied sciences. - 2018. - Vol.5. No 6. - P. 61-63, DOI 10.21833/ijaas.2018.06.009
- 17 Kurmangaliev E.K., Multiperiodic solutions of systems of partial differential equations from a countable set of variables in terms of variables // Abstract, Almaty, 2010. (in Russian).

References:

- 1 Oke Davies Adeyemo, Chaudry Masood Khalique. Shock waves, periodic, topological kink and singular soliton solutions of a new generalized two-dimensional nonlinear wave equation of engineering physics with applications in signal processing, electromagnetism and complex media // Alexandria Engineering Journal, 18 May 2023 Volume 73, P. 1-780, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.04.049>
- 2 Lohani Md. Badrul Alam, Jiang Xingfang, Abdulla-Al-Mamun, Samsun Nahar Ananna. Investigation of lump, soliton, periodic, kink, and rogue waves to the time-fractional phi-four and (2+1) dimensional CBS equations in mathematical physics // Partial Differential Equations in Applied Mathematics, <https://doi.org/10.1016/j.padiff.2021.100122>
- 3 R. K. Mohanty, Bishnu Pada Ghosh, Urvasi Arora. High precision implicit method for 3D quasilinear hyperbolic equations on a dissimilar domain: Application to 3D telegraphic equation // Computers & Mathematics with Applications, Volume 122, 15 September 2022, Pages 93-116
- 4 Chong Tian, Kuo-Chi Chang, JinSong Chen. Application of hyperbolic partial differential equations in global optimal scheduling of UAV // Alexandria Engineering Journal, Volume 59, Issue 4, August 2020, P. 2283-2289, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.02.013>
- 5 Somveer Singh, Vijay Kumar Patel, Vineet Kumar Singh, Emran Tohidi. Application of Bernoulli matrix method for solving two-dimensional hyperbolic telegraph equations with Dirichlet boundary conditions // Computers & Mathematics with Applications, 1 April 2018, <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2017.12.003>
- 6 Alexei Rybkin. Method for solving hyperbolic systems with initial data on non-characteristic manifolds with applications to the shallow water wave equations // Applied Mathematics Letters, July 2019, <https://doi.org/10.1016/j.aml.2019.02.003>
- 7 Poincare A. New methods of celestial mechanics. M.: Nauka, 1971. 772 p. (in Russian).
- 8 Lyapunov A.M. The general problem of motion stability. M.; L.: GITTL, 1950. 472 p. (in Russian).
- 9 Samoylenko A.M., Teplinsky Yu.V., Pasyuk K.V. Elements of the mathematical theory of evolutionary equations in Banach spaces. Kyiv, 2008. (in Ukrainian).
- 10 Boichuk A., Pokutnij A. Bounded solutions of linear perturbed differential equations in a Banach space // Tatra Mt. Math. Publ. 2007. V. 39. P. 1-12.
- 11 Kharasakhal V.H. Almost periodic solutions of ordinary differential equations. – Alma-Ata: Nauka, 1970. (in Russian).
- 12 Umbetzhonov D.U. Almost periodic solutions of evolutionary equations. Alma-Ata: Nauka, 1979. -179 s. (in Russian).
- 13 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, No2(98), 125-140
- 14 Rozhdestvensky B. L., Yanenko N. N., Quasi-linear systems equations and their applications to gas dynamics, Nauka, M., 1978, 687 p.
- 15 Abdikalikova G.A. On the solvability of a non-local boundary value problem. //Mathematical journal. IM MES RK - 2005. - T. 5. - №3 (17). - Pp.5-10. (in Russian).
- 16 Bekbauova A., Baibaktina A., Omarova B., Abilmazhinova B., Sultangaliyeva L., Erzhanova G., Tleubergenova M., Periodic solution of a single system of differential equations in partial derivatives // International journal of advanced and applied sciences. - 2018. - Vol.5. No 6. - P. 61-63, DOI 10.21833/ijaas.2018.06.009
- 17 Kurmangaliev E.K., Multiperiodic solutions of systems of partial differential equations from a countable set of variables in terms of variables // Abstract, Almaty, 2010. (in Russian).

CONSTRUCTION OF A SOLUTION TO A BOUNDARY VALUE PROBLEM WITH N-D CONDITIONS FOR THE FOUR-DIMENSIONAL GELLERSTEDT EQUATION

Ryskan A.R.^{1*}, Ergashev T.G.²

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²National Research University "TIIAME", Tashkent, Uzbekistan

²Department of Mathematics, Analysis, Logic and Discrete Mathematics, Ghent University, Belgium

*e-mail: ryskan.a727@gmail.com

Abstract

This work is a continuation of the study of a number of problems on the question of unique solvability for a degenerate equation of elliptic type. The article considers the Gellerstedt equation generalized to four variables in an infinite domain. This equation has four hypersurfaces of degeneracy. Earlier, sixteen fundamental solutions were constructed for the equation under consideration. From the basic theory of differential equations, it is known that each fundamental solution can be used in solving its own boundary value problem. Thus, by means of the obtained fundamental solutions the N problem, the Dirichlet problem, and two boundary value problems with mixed conditions have already been solved. The goal of this work is to construct a unique solution to a boundary value problem with mixed conditions, where one condition is the Neumann condition and three Dirichlet conditions. This is the first time that a problem with this formulation has been solved. We obtain solution of the problem in explicit form, which contains of second-order Gaussian hypergeometric series. In solving the problem, methods of partial differential equations, the method of differentiation of hypergeometric functions, the Gauss-Ostrogradsky formula and the Boltz autotransformation formula are used. The obtained results have a theoretical nature and can be used for further development of the theory of partial differential equations and the theory of special functions.

Keywords: mixed boundary value problem; generalized Gellerstedt equation; Neumann and Dirichlet conditions; fundamental solutions; Gaussian hypergeometric series; Lauricella's function.

Аннотация

ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С УСЛОВИЯМИ N-D ДЛЯ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ГЕЛЛЕРСТЕДТА

А.Р. Рыскан¹, Т.Г. Эргашев²

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

²Национальный исследовательский университет "ТИИМСХ", Ташкент, Узбекистан

³Кафедра математики, анализа, алгебры, логики и дискретной математики, Гентский университет, Бельгия

Настоящая работа является продолжением исследования ряда задач на вопрос однозначной разрешимости для вырождающегося уравнения эллиптического типа. В статье рассматривается обобщенное до четырех переменных уравнение Геллерстедта в бесконечной области. Данное уравнение имеет четыре гиперповерхности вырождения. Ранее для рассматриваемого уравнения было построено шестнадцать фундаментальных решений. Из основной теории дифференциальных уравнений известно, что каждое фундаментальное решение может быть использовано в решении своей краевой задачи. Так, с помощью некоторых полученных фундаментальных решений уже были решены задач N, задача Дирихле, и две задачи со смешанными условиями. Целью настоящей работы является нахождение единственного решения краевой задачи со смешанными условиями, где одним условием взято условие Неймана и три условия Дирихле. Задача с такой постановкой решается впервые. Решение задачи получено в явном виде, содержит гипергеометрические ряды Гаусса второго порядка. При решении задачи используются методы дифференциальных уравнений в частных производных, метод дифференцирования гипергеометрических функций, формула Гаусса-Остроградского и формула автотрансформации Больца. Полученные результаты имеют теоретический характер и могут быть использованы для дальнейшего развития теории дифференциальных уравнений с частными производными и теории специальных функций.

Ключевые слова: смешанная краевая задача; обобщенное уравнение Геллерстедта; условия Неймана и Дирихле; фундаментальные решения; гипергеометрический ряд Гаусса; функция Лауричеллы.

Аңдатпа

А.Р. Рысқан¹, Т. Г. Эргашев²

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

²«ИИАШМТИ» Ұлттық зерттеу университеті, Ташкент, Өзбекстан

²Математика, талдау, алгебра, логика және дискретті математика кафедрасы, Гент университеті, Бельгия

ТӨРТ ӨЛШЕМДІ ГЕЛЛЕРСТЕДТ ТЕНДЕУІ ҮШІН N-D ШАРТТАРЫ БАР ШЕТТІК ЕСЕПТІҢ ШЕШІМІН ҚҰРУ

Бұл жұмыс эллиптикалық типті азғындалған теңдеу үшін бірегей шешілімділік мәселе бойынша бірқатар есептерді зерттеудің жалғасы болып табылады. Мақалада шексіз облыстағы төрт айнымалыға жалпыланған Геллерстедт теңдеуі қарастырылады. Бұл теңдеуде төрт азғындау гипербеті бар. Бұған дейін қарастырылып отырған теңдеу үшін он алты іргелі шешім құрастырылған. Дифференциалдық теңдеулердің негізгі теориясынан әрбір іргелі шешімді өзінің шекаралық есебін шешуде қолдануға болатыны белгілі. Осылайша, кейбір алынған іргелі шешімдердің көмегімен N есебі, Дирихле есебі және шарттары аралас екі есеп шешілді. Бұл жұмыстың мақсаты бір Нейман және үш Дирихле аралас шарттары қойылған есепті шешу болып табылады. Есептің шешімі айқын түрде алынған және екінші ретті Гаусс гипергеометриялық қатарынан құрастырылған. Есепті шешу үшін дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер әдістері, гипергеометриялық функцияларды дифференциалдау әдісі, Гаусс-Остроградский формуласы және Больц автотрансформация формуласы қолданылады. Алынған нәтижелер теориялық сипатқа ие және оны дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер теориясы мен арнайы функциялар теориясын одан әрі дамыту үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: аралас шеттік есеп; Геллерстедт жалпыланған теңдеуі; Нейман және Дирихле шарттары; іргелі шешімдер; Гаусс гипергеометриялық қатары; Лауричелла функциясы.

1. Introduction

Over the last century partial differential equations have a wide range of applications in solving problems in various fields, such as mechanics, physics, aerodynamics, acoustics, astronomy, etc. [1-3] In solving many problems, the so-called special functions of mathematical physics are used, these can be the Bessel, Hermite functions or the Gauss's, Appell's or Lauricella's hypergeometric functions. Paper [4] describes the application of hypergeometric series of many variables to research developments in the aerospace systems field. Hypergeometric functions are widely used in constructing the theory of simple and double layer potentials [5]. A number of boundary value problems for elliptic equations with singular coefficients in two-dimensional and three-dimensional spaces were studied by means of the constructed fundamental solutions [6-8]. The general properties of degenerate systems of second-order hypergeometric equations of Horn, Whittaker, Bessel and Laguerre were studied. Where all constructed normal-regular solutions expressed through the Humbert's function [9]. Scientists from leading research centers in many countries are studying special functions and researching their areas of application. This area of research is quite relevant, as evidenced by statistical data from the Web of Science database.

In this paper we consider the degenerate Gellerstedt equation of elliptic type

$$y^m z^k t^l u_{xx} + x^n z^k t^l u_{yy} + x^n y^m t^l u_{zz} + x^n y^m z^k u_{tt} = 0, \quad m, n, k, l > 0, \quad m, n, k, l \equiv const$$

in domain $R_+^4 = \{(x, y, z, t) : x > 0, y > 0, z > 0, t > 0\}$. Previously, fundamental solutions were constructed for the equation under consideration and their singularities were studied [10]. The obtained fundamental solutions consist of four-dimensional hypergeometric Lauricella's functions $F_A^{(4)}$ [11]. To date, using the obtained fundamental solutions several boundary value problems in an infinite domain and one problem in a bounded domain have been solved [12-16].

2. Statement of the problem

Consider the elliptic equation

$$H(u) = y^m z^k t^l u_{xx} + x^n z^k t^l u_{yy} + x^n y^m t^l u_{zz} + x^n y^m z^k u_{tt} = 0, \quad m, n, k, l > 0 \quad (2.1)$$

in domain $D = \{(x, y, z, t) : x > 0, y > 0, z > 0, t > 0\}$, bounded by the following hyperplanes:

$$S_1 = \{(0, y, z, t) : x = 0, y > 0, z > 0, t > 0\}, \quad S_2 = \{(x, 0, z, t) : x > 0, y = 0, z > 0, t > 0\},$$

$$S_3 = \{(x, y, 0, t) : x > 0, y > 0, z = 0, t > 0\}, \quad S_4 = \{(x, y, z, 0) : x > 0, y > 0, z > 0, t = 0\}.$$

The variables are tied by the following relation:

$$R^2 = \frac{4}{(n+2)^2} x^{n+2} + \frac{4}{(m+2)^2} y^{m+2} + \frac{4}{(k+2)^2} z^{k+2} + \frac{4}{(l+2)^2} t^{l+2}.$$

Problem ND_3 . Find a regular solution $u(x, y, z, t)$ of the equation (2.1) from the class $C(\bar{D}) \cap C^1(D \cup \bar{S}_1) \cap C^2(D)$, D) satisfying the conditions:

$$\frac{\partial}{\partial x} u(x, y, z, t) \Big|_{x=0} = v_1(y, z, t), \quad (y, z, t) \in S_1, \quad (2.2)$$

$$u(x, y, z, t) \Big|_{y=0} = \tau_2(x, z, t), \quad (x, z, t) \in \bar{S}_2, \quad (2.3)$$

$$u(x, y, z, t) \Big|_{z=0} = \tau_3(x, y, t), \quad (x, y, t) \in \bar{S}_3, \quad (2.4)$$

$$u(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = \tau_4(x, y, z), \quad (x, y, z) \in \bar{S}_4, \quad (2.5)$$

$$\lim_{R \rightarrow \infty} u(x, y, z, t) = 0, \quad (2.6)$$

where $v_1(y, z, t), \tau_2(x, z, t), \tau_3(x, y, t), \tau_4(x, y, z)$ are given continuous functions, moreover the function $v_1(y, z, t)$ at the origin of coordinates can go to integrable order infinity. Also, for the large enough values R , the following inequalities hold:

$$|v_1(y, z, t)| \leq \frac{c_1}{\left[1 + \frac{4}{(m+2)^2} y^{m+2} + \frac{4}{(k+2)^2} z^{k+2} + \frac{4}{(l+2)^2} t^{l+2}\right]^{\frac{1-2\alpha+\varepsilon_1}{2}}}, \quad (2.7)$$

$$|\tau_2(x, z, t)| \leq \frac{c_6}{\left[1 + \frac{4}{(n+2)^2} x^{n+2} + \frac{4}{(k+2)^2} z^{k+2} + \frac{4}{(l+2)^2} t^{l+2}\right]^{\varepsilon_6}} \quad (2.8)$$

$$|\tau_3(x, y, t)| \leq \frac{c_7}{\left[1 + \frac{4}{(n+2)^2} x^{n+2} + \frac{4}{(m+2)^2} y^{m+2} + \frac{4}{(l+2)^2} t^{l+2}\right]^{\varepsilon_7}} \quad (2.9)$$

$$|\tau_4(x, y, z)| \leq \frac{c_8}{\left[1 + \frac{4}{(n+2)^2} x^{n+2} + \frac{4}{(m+2)^2} y^{m+2} + \frac{4}{(k+2)^2} z^{k+2}\right]^{\varepsilon_8}} \quad (2.10)$$

here c_1, c_6, c_7, c_8 and $\varepsilon_1, \varepsilon_6, \varepsilon_7, \varepsilon_8$ are small enough positive numbers.

Theorem 1. The boundary value problem ND_3 has at most one solution.

Existence of a solution to ND_3 the problem.

The solution to the ND_3 problem has the form

$$\begin{aligned}
 u(x_0, y_0, z_0, t_0) = & - \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty y^m z^k t^l v_1(y, z, t) g_{15}(0, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) dydzdt + \\
 & + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^n z^k t^l \tau_2(x, z, t) \frac{\partial}{\partial y} g_{15}(x, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) \Big|_{y=0} dx dz dt + \\
 & + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^n y^m t^l \tau_3(x, y, t) \frac{\partial}{\partial z} g_{15}(x, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) \Big|_{z=0} dx dy dt + \\
 & + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^n y^m z^k \tau_4(x, y, z) \frac{\partial}{\partial t} g_{15}(x, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) \Big|_{t=0} dx dy dz,
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

where

$$\begin{aligned}
 g_{15}(x, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) = & k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} yzty_0z_0t_0 \times \\
 & \times F_A^{(4)}(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta; \alpha, 1-\beta, 1-\gamma, 1-\delta; 2\alpha, 2-2\beta, 2-2\gamma, 2-2\delta; \xi, \eta, \zeta, \varsigma)
 \end{aligned}$$

is fundamental solution to the equation (2.1). Here function $F_A^{(4)}$ is the Lauricella's function

$$\begin{aligned}
 F_A^{(4)}(a; b_1, b_2, b_3, b_4; c_1, c_2, c_3, c_4; x, y, z, t) = & \sum_{m,n,p,q} \frac{(a)_{m+n+p+q} (b_1)_m (b_2)_n (b_3)_p (b_4)_q}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_p (c_4)_q m!n!p!q!} x^m y^n z^p t^q, \\
 & (|x| + |y| + |z| + |t| < 1),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{15} = & \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{4}{n+2}\right)^{2\alpha} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{2\beta} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{2\gamma} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{2\delta} \times \\
 & \times \frac{\Gamma(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta)\Gamma(\alpha)\Gamma(1-\beta)\Gamma(1-\gamma)\Gamma(1-\delta)}{\Gamma(2\alpha)\Gamma(2-2\beta)\Gamma(2-2\gamma)\Gamma(2-2\delta)}.
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Proof. Since the function g_{15} is a fundamental solution to equation (2.1), it is obvious that the solution to problem (2.11) satisfies equation (2.1).

Let us prove that function (2.11) satisfies conditions (2.2) – (2.5) of the problem ND_3 .

We present solution (2.11) in the following form

$$u(x_0, y_0, z_0, t_0) = I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) + I_2(x_0, y_0, z_0, t_0) + I_3(x_0, y_0, z_0, t_0) + I_4(x_0, y_0, z_0, t_0), \tag{2.13}$$

where

$$\begin{aligned}
 I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) = & -k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} y_0 z_0 t_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty y^{m+1} z^{k+1} t^{l+1} v_1(y, z, t) \times \\
 & \times (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} F_A^{(3)}(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta; 1-\beta, 1-\gamma, 1-\delta; 2-2\beta, 2-2\gamma, 2-2\delta; \eta, \zeta, \varsigma) \Big|_{x=0} dydzdt
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2(x_0, y_0, z_0, t_0) = & k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} y_0 z_0 t_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^{n+1} z^{k+1} t^{l+1} \tau_2(x, z, t) \times \\
 & \times (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} F_A^{(3)}(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta; \alpha, 1-\gamma, 1-\delta; 2\alpha, 2-2\gamma, 2-2\delta; \xi, \zeta, \varsigma) \Big|_{y=0} dx dz dt
 \end{aligned}$$

$$I_3(x_0, y_0, z_0, t_0) = k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} y_0 z_0 t_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^n y^{m+1} t^{l+1} \tau_3(x, y, t) \times \\ \times (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} F_A^{(3)}(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta; \alpha, 1-\beta, 1-\delta; 2\alpha, 2-2\beta, 2-2\delta; \xi, \eta, \zeta) \Big|_{z=0} dx dy dt$$

$$I_4(x_0, y_0, z_0, t_0) = k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} y_0 z_0 t_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty x^n y^{m+1} z^{k+1} \tau_4(x, y, z) \times \\ \times (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} F_A^{(3)}(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta; \alpha, 1-\beta, 1-\gamma; 2\alpha, 2-2\beta, 2-2\gamma; \xi, \eta, \zeta) \Big|_{l=0} dx dy dz$$

Let us check condition (2.2), for this we calculate the derivative of function (2.13) at $x_0 \rightarrow 0$

$$\frac{\partial}{\partial x_0} u(x_0, y_0, z_0, t_0) = \frac{\partial}{\partial x_0} I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) + \frac{\partial}{\partial x_0} I_2(x_0, y_0, z_0, t_0) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_0} I_3(x_0, y_0, z_0, t_0) + \frac{\partial}{\partial x_0} I_4(x_0, y_0, z_0, t_0).$$

Let's consider the first integral and use the decomposition formula [17 p. 118, (14)]

$$F_A^{(3)}(a, b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3; x, y, z) = \sum_{n_1, n_2, n_3=0}^{\infty} \frac{(a)_{n_1+n_2+n_3} (b_1)_{n_1+n_2} (b_2)_{n_1+n_3} (b_3)_{n_2+n_3}}{(c_1)_{n_1+n_2} (c_2)_{n_1+n_3} (c_3)_{n_2+n_3} n_1! n_2! n_3!} \times \\ \times x^{n_1+n_2} y^{n_1+n_3} z^{n_2+n_3} F(a+n_1+n_2, b_1+n_1+n_2; c_1+n_1+n_2; x) \\ \times F(a+n_1+n_2+n_3, b_2+n_1+n_3; c_2+n_1+n_3; y) F(a+n_1+n_2+n_3, b_3+n_2+n_3; c_3+n_2+n_3; z).$$

Then we get:

$$\frac{\partial}{\partial x_0} I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) = k_{15} \left(\frac{4}{m+2}\right)^{\frac{4}{m+2}} \left(\frac{4}{k+2}\right)^{\frac{4}{k+2}} \left(\frac{4}{l+2}\right)^{\frac{4}{l+2}} y_0 z_0 t_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty y^{m+1} z^{k+1} t^{l+1} v_1(y, z, t) \times \\ \times (r^2)^{-\alpha+\beta+\gamma+\delta-4} (r^2)^{3-\beta-\gamma-\delta} (r^2)^{-1+\beta} (r^2)^{-1+\gamma} (r^2)^{-1+\delta} P(0, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) \Big|_{x=0} dy dz dt, \quad (2.14)$$

where

$$P(0, y, z, t; x_0, y_0, z_0, t_0) = \sum_{l_1, l_2, l_3=0}^{\infty} \frac{(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta)_{l_1+l_2+l_3} (1-\beta)_{l_1+l_2} (1-\gamma)_{l_1+l_3} (1-\delta)_{l_2+l_3}}{(2-2\beta)_{l_1+l_2} (2-2\gamma)_{l_1+l_3} (2-2\delta)_{l_2+l_3} l_1! l_2! l_3!} \\ \times \left(\frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2}\right)^{l_1+l_2} \left(\frac{r_3^2 - r^2}{r_3^2}\right)^{l_1+l_3} \left(\frac{r_4^2 - r^2}{r_4^2}\right)^{l_2+l_3} \\ \times F\left(-2-\alpha-\beta+\gamma+\delta, 1-\beta+l_1+l_2; 2-2\beta+l_1+l_2; \frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2}\right) \\ \times F\left(-2-\alpha+\beta-\gamma+\delta-l_2, 1-\gamma+l_1+l_3; 2-2\gamma+l_1+l_3; \frac{r_3^2 - r^2}{r_3^2}\right) \\ \times F\left(-2-\alpha+\beta+\gamma-\delta-l_1, 1-\delta+l_2+l_3; 2-2\delta+l_2+l_3; \frac{r_4^2 - r^2}{r_4^2}\right).$$

We use the following change of variables:

$$\frac{2}{m+2} y^{\frac{m+2}{2}} = \frac{2}{m+2} y_0^{\frac{m+2}{2}} + \frac{2}{n+2} x_0^{\frac{n+2}{2}} s_1, \quad \frac{2}{k+2} z^{\frac{k+2}{2}} = \frac{2}{k+2} z_0^{\frac{k+2}{2}} + \frac{2}{n+2} x_0^{\frac{n+2}{2}} s_2,$$

$$\frac{2}{l+2} t^{\frac{l+2}{2}} = \frac{2}{l+2} t_0^{\frac{l+2}{2}} + \frac{2}{n+2} x_0^{\frac{n+2}{2}} s_3,$$

then from (2.14) at $x_0 \rightarrow 0$ we have

$$\frac{\partial}{\partial x_0} I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) = k_{15} \left(\frac{8}{n+2} \right)^{\frac{2}{n+2}} \left(\frac{4}{m+2} \right)^{-2\beta} \left(\frac{4}{k+2} \right)^{-2\gamma} \left(\frac{4}{l+2} \right)^{-2\delta} v_1(y_0, z_0, t_0) \quad (2.15)$$

$$\frac{\Gamma(1+\alpha)\Gamma(2-2\beta)\Gamma(2-2\gamma)\Gamma(2-2\delta)}{\Gamma(1-\beta)\Gamma(1-\gamma)\Gamma(1-\delta)\Gamma(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{ds_1 ds_2 ds_3}{(1+s_1^2+s_2^2+s_3^2)^{\alpha+1}}.$$

Let us calculate the integral from (2.15) using the following formula [18, p. 637(4.638-3)] and [19]

$$\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \frac{x_1^{p_1-1} x_2^{p_2-1} \dots x_n^{p_n-1}}{\left[1 + (r_1 x_1)^{q_1} + (r_2 x_2)^{q_2} + \dots + (r_n x_n)^{q_n} \right]^s} dx_1 dx_2 \dots dx_n =$$

$$\frac{\Gamma\left(\frac{p_1}{q_1}\right) \Gamma\left(\frac{p_2}{q_2}\right) \dots \Gamma\left(\frac{p_n}{q_n}\right) \Gamma\left(s - \frac{p_1}{q_1} - \frac{p_2}{q_2} - \dots - \frac{p_n}{q_n}\right)}{q_1 q_2 \dots q_n r_1^{p_1 q_1} r_2^{p_2 q_2} \dots r_n^{p_n q_n} \Gamma(s)}, \quad (p_i > 0, q_i > 0, r_i > 0, s > 0),$$

then

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{ds_1 ds_2 ds_3}{(1+s_1^2+s_2^2+s_3^2)^{\alpha+1}} = 8 \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{ds_1 ds_2 ds_3}{(1+s_1^2+s_2^2+s_3^2)^{\alpha+1}} = \frac{\pi^2 \Gamma(2\alpha)}{\Gamma(\alpha+1)(2\alpha-1)2^{2\alpha-2} \Gamma(\alpha)}$$

By virtue of formulas, from (2.15) we obtain

$$\lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) = 4\pi^2 k_{15} \left(\frac{4}{n+2} \right)^{-2\alpha} \left(\frac{4}{m+2} \right)^{-2\beta} \left(\frac{4}{k+2} \right)^{-2\gamma} \left(\frac{4}{l+2} \right)^{-2\delta} v_1(y_0, z_0, t_0) \times$$

$$\times \frac{\Gamma(2\alpha)\Gamma(2-2\beta)\Gamma(2-2\gamma)\Gamma(2-2\delta)}{\Gamma(4+\alpha-\beta-\gamma-\delta)\Gamma(\alpha)\Gamma(1-\beta)\Gamma(1-\gamma)\Gamma(1-\delta)} \quad (2.16)$$

Considering definition (2.12) for k_{15} from (2.16) we obtain $\lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} I_1(x_0, y_0, z_0, t_0) = v_1(y_0, z_0, t_0)$. It is not difficult to show that

$$\lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} I_2(x_0, y_0, z_0, t_0) = 0, \quad \lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} I_3(x_0, y_0, z_0, t_0) = 0, \quad \lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} I_4(x_0, y_0, z_0, t_0) = 0.$$

Therefore, $\lim_{x_0 \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial x_0} u(x_0, y_0, z_0, t_0) = v_1(y_0, z_0, t_0)$, then function (2.11) satisfies the condition (2.2) of the problem ND_3 . It is not difficult to prove that function (2.11) satisfies conditions (2.3) – (2.5) of the problem ND_3 .

Let us show that if the given functions for sufficiently large values of the argument satisfy inequalities (2.7) – (2.10), then the solution (2.11) of the problem ND_3 also satisfies condition (2.6). Indeed, let inequalities (2.7) – (2.10) be valid, make the following change of variables:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{1}{R_0} \frac{2}{n+2} x^{\frac{n+2}{2}}, \eta_1 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{m+2} y^{\frac{m+2}{2}}, \zeta_1 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{k+2} z^{\frac{k+2}{2}}, \varsigma_1 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{l+2} t^{\frac{l+2}{2}}, \\ \sigma_1 &= \frac{1}{R_0} \frac{2}{n+2} x_0^{\frac{n+2}{2}}, \sigma_2 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{m+2} y_0^{\frac{m+2}{2}}, \sigma_3 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{k+2} z_0^{\frac{k+2}{2}}, \sigma_4 = \frac{1}{R_0} \frac{2}{l+2} t_0^{\frac{l+2}{2}}, \end{aligned}$$

here $R_0^2 = \frac{4}{(n+2)^2} x_0^{n+2} + \frac{4}{(m+2)^2} y_0^{m+2} + \frac{4}{(k+2)^2} z_0^{k+2} + \frac{4}{(l+2)^2} t_0^{l+2}$.

Then at $R_0 \rightarrow \infty$ from (2.7) – (2.10) we obtain the following inequalities for

$$\begin{aligned} |I_1(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{k_{15} c_1}{R_0^{\varepsilon_1}} 4^{\frac{2}{2+m} + \frac{2}{2+k} + \frac{2}{2+l}} \left(\frac{2}{m+2}\right)^{-2\beta} \left(\frac{2}{k+2}\right)^{-2\gamma} \left(\frac{2}{l+2}\right)^{-2\delta} \\ &\times \sigma_2^{\frac{2}{m+2}} \sigma_3^{\frac{2}{k+2}} \sigma_4^{\frac{2}{l+2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\eta_1 \zeta_1 \varsigma_1 d\eta_1 d\zeta_1 d\varsigma_1}{(1 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{4+\alpha-\beta-\gamma-\delta} (\eta_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{\frac{1-2\alpha+\varepsilon_1}{2}}}, \end{aligned} \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned} |I_2(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{k_{15} c_6}{R_0^{2\varepsilon_6}} 4^{\frac{2}{2+m} + \frac{2}{2+k} + \frac{2}{2+l}} \left(\frac{2}{n+2}\right)^{-2\alpha} \left(\frac{2}{m+2}\right)^{\frac{2}{m+2}} \left(\frac{2}{k+2}\right)^{-2\gamma} \left(\frac{2}{l+2}\right)^{-2\delta} \\ &\times \sigma_2^{\frac{2}{m+2}} \sigma_3^{\frac{2}{k+2}} \sigma_4^{\frac{2}{l+2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\xi_1^{2\alpha} \zeta_1 \varsigma_1 d\xi_1 d\zeta_1 d\varsigma_1}{(1 + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{4+\alpha-\beta-\gamma-\delta} (\xi_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{\varepsilon_6}}, \end{aligned} \tag{2.18}$$

$$\begin{aligned} |I_3(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{k_{15} c_7}{R_0^{2\varepsilon_7}} 4^{\frac{2}{2+m} + \frac{2}{2+k} + \frac{2}{2+l}} \left(\frac{2}{n+2}\right)^{-2\alpha} \left(\frac{2}{m+2}\right)^{-2\beta} \left(\frac{2}{k+2}\right)^{\frac{2}{k+2}} \left(\frac{2}{l+2}\right)^{-2\delta} \\ &\times \sigma_2^{\frac{2}{m+2}} \sigma_3^{\frac{2}{k+2}} \sigma_4^{\frac{2}{l+2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\xi_1^{2\alpha} \eta_1 \zeta_1 d\xi_1 d\eta_1 d\zeta_1}{(1 + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{4+\alpha-\beta-\gamma-\delta} (\xi_1^2 + \eta_1^2 + \varsigma_1^2)^{\varepsilon_7}}, \end{aligned} \tag{2.19}$$

$$\begin{aligned} |I_4(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{k_{15} c_8}{R_0^{2\varepsilon_8}} 4^{\frac{2}{2+m} + \frac{2}{2+k} + \frac{2}{2+l}} \left(\frac{2}{n+2}\right)^{-2\alpha} \left(\frac{2}{m+2}\right)^{-2\beta} \left(\frac{2}{k+2}\right)^{-2\gamma} \left(\frac{2}{l+2}\right)^{\frac{2}{l+2}} \\ &\times \sigma_2^{\frac{2}{m+2}} \sigma_3^{\frac{2}{k+2}} \sigma_4^{\frac{2}{l+2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\xi_1^{2\alpha} \eta_1 \zeta_1 d\xi_1 d\eta_1 d\zeta_1}{(1 + \xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2 + \varsigma_1^2)^{4+\alpha-\beta-\gamma-\delta} (\xi_1^2 + \eta_1^2 + \varsigma_1^2)^{\varepsilon_8}}. \end{aligned} \tag{2.20}$$

Let us show that the integrals included in inequalities (2.17) - (2.20) are bounded.

Inequality (2.17) satisfies the identity

$$\begin{aligned} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{xyz dx dy dz}{(1+x^2+y^2+z^2)^{4+a-b-c-d} (x^2+y^2+z^2)^{\frac{1-2\alpha+\varepsilon}{2}}} &= \frac{1}{16} \frac{\Gamma\left(\frac{5-\varepsilon}{2} + a\right) \Gamma\left(\frac{3-\varepsilon}{2} - b - c - d\right)}{\Gamma(4+a-b-c-d)}, \tag{2.21} \\ \text{где } 2b+2c+2d-3 < \varepsilon < 2a+5. \end{aligned}$$

For inequalities (2.18)-(2.20) the identity holds

$$\iiint_0^\infty \frac{x^{2a} yz dx dy dz}{(1+x^2+y^2+z^2)^{4+a-b-c-d} (x^2+y^2+z^2)^\varepsilon} = \frac{1}{8} \frac{\Gamma\left(a+\frac{5-\varepsilon}{2}\right)\Gamma\left(2-b-c-d+\frac{\varepsilon}{2}\right)\Gamma\left(a+\frac{1}{2}\right)\Gamma\left(a+\frac{3}{2}\right)}{\Gamma(4+a-b-c-d)}, \quad (2.22)$$

$\varepsilon \in 2b+2c+2d-3 < \varepsilon < 2a+5.$

Thus, from inequalities (2.17) – (2.20), due to the value of integrals (2.21) and (2.22), the following estimates hold:

$$\begin{aligned} \lim_{R \rightarrow 0} |I_1(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{\overline{k_{15}c_1}}{R_0^{\varepsilon_1}}, \quad \lim_{R \rightarrow 0} |I_2(x_0, y_0, z_0, t_0)| \leq \frac{\overline{k_{15}c_6}}{R_0^{2\varepsilon_6}}, \\ \lim_{R \rightarrow 0} |I_3(x_0, y_0, z_0, t_0)| &\leq \frac{\overline{c_7}}{R_0^{2\varepsilon_7}}, \quad \lim_{R \rightarrow 0} |I_4(x_0, y_0, z_0, t_0)| \leq \frac{\overline{k_{15}c_8}}{R_0^{2\varepsilon_8}}, \end{aligned} \quad (2.23)$$

where $\overline{c_5}, \overline{c_6}, \overline{c_7}, \overline{c_8}$ are constans.

Inequalities (2.23) show that solution (2.11) at $R_0 \rightarrow \infty$ goes to zero. Thus, condition (2.6) of the problem ND_3 is satisfied. Consequently, solution (2.11) of the problem satisfies all the ND_3 problem conditions.

Theorem 2. Let conditions (2.7) – (2.10) be satisfied, then a regular solution to problem ND_3 (2.1), (2.2) – (2.6) exists and is expressed by formula (2.11).

Methodology

To construct a solution to the boundary value problem under consideration, classical methods of partial differential equations and mathematical physics are used. Methods proposed by the authors of the famous monograph by Appell, Kampe de Fariet, were also used, applying the properties of the Gaussian hypergeometric function of one variable and Lauricella’s function of four variables. By means of decomposition formulas, functions of many variables are reduced to the product of Gaussian functions of one variable. Integration results are written using Euler’s Gamma function. The formula for differentiation of special functions, the properties of the Lauricella’s function $F_D^{(4)}$ and the Pochhammer function is traditionally used.

Conclusions

A mixed boundary value problem ND_3 with one Neumann’s condition and three Dirichlet’s conditions is posed for an elliptic type equation in four-dimensional space. Two theorems are formulated. A theorem for the existence of a solution to the problem has been proven. The solution is obtained explicitly, expressed by the Lauricella’s hypergeometric function $F_A^{(4)}$. During the proof, the properties of hypergeometric series, decomposition formulas and Boltz’s formula, properties of Euler’s Gamma function are used. In the future, it is possible to construct solutions to a number of mixed boundary value problems for the equation under consideration using the proposed method.

Acknowledgments

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14972818).

References:

- 1 Candelas P., de la Ossa X., Greene P., Parkes L. A pair of Calabi-Yau manifolds as an exactly soluble super conformal theory. Nucl. Phys. – 1991. – V. B539. – P. 21-74.
- 2 Passare M., Tsikh A., Zhdanov O. A multidimensional Jordan residue lemma with an application to Mellin-Barnes integral. Aspects Math. – 1994. – V. E. №26. – P. 233-241.

3 Niukkanen A.W., *Generalised hypergeometric series $NF(x_1, \dots, x_N)$ arising in physical and quantum chemical applications*, *J. Phys. A: Math. Gen.* – 1983. №16. - P.1813–1825.

4 Vinogradov Yu.I., Konstantinov M.V. *Raschet sfericheskogo baka pri lokal'nom vozdeystvii Calculation of a spherical tank under local influence [Calculation of a spherical tank under local influence]*. *Izv. RAS. MTT.* – 2016. – № 2. – P. 109-120. (In Russian)

5 Berdyshev A.S., Hasanov A., Ergashev T. *Double-layer potentials for a generalized bi-axially symmetric Helmholtz equation II*. *ComplexVar. EllipticEqu.* – 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/174769>.

6 Itagaki M., *Higher order three-dimensional fundamental solutions to the Helmholtz and the modified Helmholtz equations*, *Eng. Anal. Bound. Elem.* – 1995, - № 15. – P. 289–293.

7 Salakhitdinov M.S., Hasanov A. *A solution of the Neumann–Dirichlet boundary-value problem for generalized bi-axially symmetric Helmholtz equation*, *ComplexVar. EllipticEqu.* – 2008. – V.53. №4. – P. 355–364. DOI: <https://doi.org/10.1080/17476930701769041>

8 Hasanov A., Karimov E.T. *Fundamental solutions for a class of three-dimensional elliptic equations with singular coefficients*. *Appl. Math. Letters* – 2009. – №22. – P. 1828–1832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aml.2009.07.006>

9 Issenova A., Tasmambetov Z, Rajabov N. *On general properties of degenerate systems of second order partial differential equations of hypergeometric type*. *Europ. J. of P. and Appl. Math.* – 2021. – V. 14, №3. P. 1024-1043.

DOI: <https://doi.org/10.29020/nybg.ejpm.v14i3.4016>

10 Hasanov A., Berdyshev A. S., Ryskan A. R. *Fundamental solutions for a class of four-dimensional degenerate elliptic equation*. *ComplexVar. EllipticEqu.* – 2020. – V. 65, - Issue 4. P. 632-647. DOI: <https://doi.org/10.1080/17476933.2019.1606803>

11 Appell P., Kampe de Fariet J. *Fonctions hypergeometriques et hyperspheriques. Polynomes d'Hermite / Paris: Gauthier – Villars, 1926. - 434 p.*

12 Berdyshev A.S., Ryskan A. *The Neumann and Dirichlet problems for one four-dimensional degenerate elliptic equation*. *Lobachevskii J. of Math.* – 2020. – V. 41, № 6. P. 1051–1066. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995080220060062>

13 Berdyshev A.S., Hasanov A., Ryskan A.R. *Solution of the Neumann problem for one four-dimensional elliptic equation*. *Eurasian Math. J.* – 2020. – Vol.11, No. 2. – P. 93–97. DOI: <https://doi.org/10.32523/2077-9879-2020-11-2-93-97>

14 Berdyshev A.S., Ryskan A.R. *Boundary value problem for the four-dimensional Gellerstedt equation*. *Bulletin of the Karaganda University.* – 2021. – V. 4, №104. P. 35-48 DOI: <https://doi.org/10.31489/2021M4/35-48>

15 Berdyshev A.S., Hasanov A., Ryskan A.R. *A Boundary-Value Problem for a Class of Four-Dimensional Degenerate Elliptic Equations*. *Results of Science and Technology. Series Modern mathematics and its applications.* – 2021, - V. 194. P. 55–70. DOI: <https://doi.org/10.36535/0233-6723-2021-194-55-70>)

16 Baishemirov, Z.; Berdyshev, A.; Ryskan, A. A. *Solution of a Boundary Value Problem with Mixed Conditions for a Four-Dimensional Degenerate Elliptic Equation*. *Mathematics.* – 2022. – V. 10, № 1094. <https://doi.org/10.3390/math10071094>

17 Hasanov A., Srivastava H.M. *Some decomposition formulas associated with the Lauricella function $F_A^{(r)}$ and other multiple hypergeometric functions* // *Appl. Math. Lett.* – 2006. – V. 19. №2. – P. 113–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aml.2005.03.009>

18 Gradshteyn I. S., Ryzhik I. M. *Tablitsy integralov, summ, ryadov i proizvedeniy [Tables Of integrals, series and products]*. 4th edit. M.: Fizmatgiz, 1963. - 1100 p. (In Russian)

19 Erdelyi A, Magnus W, Oberhettinger F, et al. *Higher transcendental functions. Vol. I. New York–Toronto–London: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1953.*

С.М. Темешева^{1,2}, М. Мұқаш^{3*}

¹Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ., Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

*e-mail: mukashma1983@gmail.com

БЕКІТІЛМЕГЕН МЕЗЕТТЕ ИМПУЛЬСТІК ӘСЕРІ БАР ЕСЕП ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Ұсынылған жұмыста дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бекітілмеген уақыт мезетіндегі импульстік әсері бар екі нүктелі шеттік есеп қарастырылған. Қарастырылып отырған есеп параметрлеу әдісінің идеялары негізінде зерттеледі. Параметрлеу әдісі интервалды бірнеше бөліктерге бөлуге және ішкі интервалдардың бастапқы нүктелерінде шешім мәндері ретінде параметрлерді енгізуге негізделген. Қарастырылып отырған есептің жуық шешімін табудың бір жолы ұсынылады. Есептің шешімін табу үшін шеттік есептің қарастырылып отырған интервалы бірнеше бөліктерге бөлініп, жаңа параметр енгізіліп, берілген дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бөлік интервалдарда аралық шеттік есеп алынады және аралық шеттік есепте параметр енгізу нәтижесінде бастапқы шарт пайда болып, Коши есебін қарастыруға мүмкіндік аламыз. Дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бекітілмеген уақыт мезетіндегі импульстік әсері бар екі нүктелі шеттік есептің жуық шешімін табудың ұсынылған әдістің тиімділігін көрсететін сынақ мысалы келтірілген.

Түйін сөздер: дифференциалдық теңдеулер, уақыттың бекітілмеген мезетіндегі импульс әсері, шеттік есеп, параметрлеу әдісі.

Аннотация

С.М. Темешева^{1,2}, М. Мұқаш³

О ЗАДАЧЕ С НЕФИКСИРОВАННЫМ МОМЕНТОМ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

¹Институт математики и математического моделирования, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г.Актөбе, Казахстан

В представленной работе рассматривается двухточечная краевая задача для системы дифференциальных уравнений, подчиняющейся импульсному воздействию в нефиксированный момент времени. Рассматриваемая задача исследуется на основе идей метода параметризации. Метод параметризации основан на разделении интервала на несколько частей и вводе параметров в качестве значений решений в начальных точках подинтервалов. Предлагается способ поиска приближенного решения рассматриваемой задачи. Для нахождения решения задачи рассматриваемый интервал краевой задачи разбивается на несколько частей, вводится новый параметр, получается промежуточная краевая задача для заданной системы дифференциальных уравнений на частичных интервалах и в результате При вводе параметра в промежуточную краевую задачу появляется начальное условие и можно рассматривать задачу Коши. Предложен один из способов нахождения приближенного решения рассматриваемой задачи. Приведен тестовый пример, который показывает эффективность предложенного способа нахождения приближенного решения двухточечная краевая задача для системы дифференциальных уравнений, подчиняющейся импульсному воздействию в нефиксированный момент времени.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, импульсное воздействие в нефиксированный момент времени, краевая задача, метод параметризации.

Abstract

ABOUT THE PROBLEM WITH A NON-FIXED MOMENT OF IMPULSE ACTION

Temesheva S.M.^{1,2}, Mukash M.³

¹Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

The presented work considers a two-point boundary value problem for a system of differential equations subject to impulse action at a non-fixed moment in time. The problem under consideration is studied based on the ideas of the parameterization method. The parameterization method is based on dividing the interval into several parts and entering

the parameters as decision values at the initial points of the subintervals. A way to find an approximate solution of the problem under consideration is proposed. To find the solution of the problem, the considered interval of the boundary value problem is divided into several parts, a new parameter is introduced, an intermediate boundary value problem is obtained for the given system of differential equations in partial intervals, and as a result of entering a parameter in the intermediate boundary value problem, an initial condition appears and we can consider the Cauchy problem. One of the ways to find an approximate solution to the problem under consideration is proposed. A test example is given that shows the effectiveness of the proposed method for finding an approximate solution to a two-point boundary value problem for a system of differential equations subject to impulse action at a non-fixed point in time.

Keywords: differential equations, impulse action at a non-fixed moment of time, boundary value problem, parameterization method.

Кіріспе

Дифференциалдық теңдеулердің импульстік жүйелері объектілердің математикалық модельдері ретінде қызмет етеді, олардың эволюциясы кезінде қысқа мерзімді күштердің әрекетіне ұшырайды. Қысқа мерзімді ауытқуы бар нақты процестердің эволюциясын математикалық сипаттауда көбінесе ауытқу ұзақтығын елемеу және бұл ауытқулар «лездік» сипатта деп болжауға ыңғайлы. Мұндай сипаттау үзіліссіз траекториялары бар динамикалық жүйелерді немесе оларды импульс әсері бар дифференциалдық теңдеулерді зерттеу қажеттілігіне әкеледі. Мұндай жүйелердің толық теориясы [1] монографиясында берілген. Импульсивті әсерлері бар нақты мәселелерді зерттеу [2-4] жұмыстарда қарастырылған. Тұрақты емес импульсивті мәселелер бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді. Бұл мәселелер үшін шешімнің бар болуы, орнықтылығы және басқа асимптотикалық қасиеттері [5, 6] және [7, 8, 9], сонымен қатар импульсивті жүйелер үшін шекаралық есептер зерттелді. Импульстік жүйелер үшін периодты және периодты дерлік шешімдердің болуы туралы сұрақтар [10-13] қарастырылған.

Д. Жұмабаевтың ұсынған [14] параметрлеу әдісі [15] бекітілген уақыт мезетіндегі импульс әсері бар Фредгольм интегро-дифференциалдық теңдеуінің сызықтық шеттік есебін зерттеуде қарастырылды. Бұл әдіс интервалды бөліктерге бөлуге және қосымша параметрлерді енгізуге негізделген.

Есептің қойылымы және зерттеу әдісі

Бұл мақалада $[a, b]$ кесіндісінде келесі импульс әсерлі шеттік есеп қарастырылады:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + f(t), \quad t \in (a, b) \setminus \{t_*\}, \quad x \in R^n, \quad (1)$$

$$x(t_* + 0) - x(t_* - 0) = p, \quad p \in R^n, \quad (2)$$

$$t_* + \beta \cdot x(t_* - 0) = 0, \quad (3)$$

$$Bx(a) + Cx(b) = d, \quad d \in R^n \quad (4)$$

мұндағы $A(t) \in C([a, b] \setminus \{t_*\})$, $f(t) \in C([a, b] \setminus \{t_*\})$; B, C - тұрақты n -өлшемді квадрат матрицалар; p, d - тұрақты n -өлшемді векторлар, β - $(1 \times n)$ -өлшемді матрица-жол.

$PC([a, b] \setminus \{t_*\}, R^n)$ арқылы нормасы $\|x\|_1 = \max \left\{ \sup_{t \in [a, t_*)} \|x(t)\|, \sup_{t \in (t_*, b]} \|x(t)\| \right\}$ болатын үзінді-үзіліссіз

функциялар кеңістігін белгілейміз.

(1)-(4) есебінің шешімі деп

- (1) дифференциалдық теңдеуге,
- (2) импульс әсер шартына,
- (3) шартына,
- (4) шеттік шартына

қанағаттандыратын $(x(t), t_*)$ жұбын айтамыз, мұндағы $x(t) \in PC([a, b] \setminus \{t_*\}, R^n)$ және $t_* \in (a, b)$.

Келесідей белгілеулер қолданамыз: $t_1 = a$, $t_0 = t_*$, $t_2 = b$, $a = t_1 < t_0 < t_2 = b$.

Кейбір $t_0 \in (t_1, t_2)$ үшін $C([t_1, t_2] \setminus t_0, R^{2n})$ арқылы нормасы $\|x\|_2 = \max \left\{ \max_{r=1,2} \sup_{t \in (t_{r-1}, t_r)} \|x_r(t)\|, \|x_1(t)\|, \|x_2(t)\| \right\}$ болатын $x[t] = (x_1(t), x_2(t))$ функциялар жүйелерінің

кеңістігін белгілейміз, мұндағы $x_1 : [t_1, t_0) \rightarrow R^n$ - үзіліссіз және әрбір $t_0 \in (t_1, t_2)$ үшін $\lim_{t \rightarrow t_0^-} x_1(t)$, ал

$x_2 : (t_0, t_2] \rightarrow R^n$ -- үзіліссіз және әр бір $t_0 \in (a, b)$ үшін $\lim_{t \rightarrow t_0^+} x_2(t)$ ақырлы шегі бар функция.

(1)-(4) есебін Д.С.Джумабаевтың параметрлеу әдісінің идеясын пайдалану арқылы шешімін табу алгоритмін ұсынғалы отырмыз. Ол үшін белгілеулер енгіземіз:

- $\lambda_1 = x(t_1)$, $\lambda_2 = x(t_2)$;
- $u_1(t) = x(t) - \lambda_1$, $t \in (t_0, t_1]$, $u_2(t) = x(t) - \lambda_2$, $t \in (t_0, t_2]$.

Енді (1)-(4) есебінен төмендегі эквивалентті көпнүктелі параметрлер енгізілген шеттік есепке көшеміз:

$$\frac{du_r}{dt} = A(t)(\lambda_r + u_r) + f(t), \quad t \in (t_0, t_r), \quad r = \overline{1,2}, \quad (5)$$

$$u_r(t_r) = 0, \quad r = \overline{1,2}, \quad (6)$$

$$\lambda_1 + \lim_{t \rightarrow t_0^-} u_1(t) - \lambda_2 - \lim_{t \rightarrow t_0^+} u_2(t) + p = 0, \quad (7)$$

$$t_0 + \beta \cdot \left(\lambda_1 + \lim_{t \rightarrow t_0^-} u_1(t) \right) = 0, \quad (8)$$

$$B\lambda_1 + C\lambda_2 - d = 0. \quad (9)$$

Жаңадан құрылған (5)-(9) есептің шешімі деп компоненттері (5) теңдеуіне және (6)-(9) теңдіктерін қанағаттандыратын $(\lambda^*, u^*[t])$ жұбын айтамыз. Мұндағы $\lambda^* = (\lambda_1^*, \lambda_2^*) \in R^{2n}$, $u^*[t] = (u_1^*(t), u_2^*(t)) \in C([a, b] \setminus t_0, R^{2n})$.

Берілген (1)-(4) есебі мен жаңадан құрылған (5)-(9) есептердің эквиваленттігін келесі мағынада түсінеміз. Егер $(\lambda^*, u^*[t])$ жұбы (5)-(9) есебінің шешімі болса, онда үзінді-үзіліссіз

$$x^*(t) = \begin{cases} \lambda_1^*, & \text{егер } t = t_1, \\ \lambda_r^* + u_r^*(t), & \text{егер } t \in (t_0, t_r), \quad r = \overline{1,2}, \\ \lambda_2^*, & \text{егер } t = t_2, \end{cases}$$

функциясы (1)-(4) есебінің шешімі болады. Ал егер $\tilde{x}(t)$ функциясы (1)-(4) есебінің шешімі болса, онда компоненттері $\tilde{\lambda} = (\tilde{x}(t_1), \tilde{x}(t_2))$, $\tilde{u}[t] = (\tilde{x}(t) - \tilde{x}(t_1), \tilde{x}(t) - \tilde{x}(t_2))$ болатын $(\tilde{\lambda}, \tilde{u}[t])$ жұбы (6)-(9) есебінің шешімі болады.

Айталық, λ_r белгілі болсын. Онда (5), (6) Коши есебі

$$u_r(t) = \int_{t_r}^t A(\tau_1)(\lambda_r + u_r(\tau_1))d\tau_1, \quad t \in (t_0, t_r], \quad r = \overline{1,2}. \quad (10)$$

Вольтерра екінші текті интегралдық теңдеуіне пара-пар болады.

Соңғы (10) теңдікте λ_r белгілі деп санасақ, $u_r(t)$ үшін келесі өрнекті жаза аламыз:

$$\begin{aligned}
 u_r(t) = & \left(\int_{t_r}^t A(\tau_1) d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \int_{t_r}^{\tau_1} A(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} A(\tau_v) d\tau_v \dots d\tau_1 \right) \cdot \lambda_r + \\
 & + \left(\int_{t_r}^t f(\tau_1) d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \int_{t_r}^{\tau_1} f(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-2}} A(\tau_{v-1}) \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} f(\tau_v) d\tau_v \dots d\tau_1 \right) + \\
 & + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-2}} A(\tau_{v-1}) \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} A(\tau_v) u_r(\tau_v) d\tau_v d\tau_{v-1} \dots d\tau_1, \quad t \in (t_0, t_r], \quad r = \overline{1, 2}.
 \end{aligned} \tag{11}$$

Жазуды қысқарту мақсатында

$$\begin{aligned}
 D_{v,r}(t) = & \int_{t_r}^t A(\tau_1) d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \int_{t_r}^{\tau_1} A(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} A(\tau_v) d\tau_v \dots d\tau_1, \\
 F_{v,r}(t) = & \int_{t_r}^t f(\tau_1) d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \int_{t_r}^{\tau_1} f(\tau_2) d\tau_2 d\tau_1 + \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-2}} A(\tau_{v-1}) \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} f(\tau_v) d\tau_v \dots d\tau_1, \\
 G_{v,r}(u_r, t) = & \int_{t_r}^t A(\tau_1) \dots \int_{t_r}^{\tau_{v-2}} A(\tau_{v-1}) \int_{t_r}^{\tau_{v-1}} A(\tau_v) u_r(\tau_v) d\tau_v d\tau_{v-1} \dots d\tau_1,
 \end{aligned}$$

белгілеулерді енгіземіз де, (11) теңдікті төмендегідей жазып аламыз:

$$u_r(t) = D_{v,r}(t) \cdot \lambda_r + F_{v,r}(t) + G_{v,r}(u_r, t), \quad t \in (t_0, t_r], \quad r = \overline{1, 2} \tag{12}$$

Онда

$$\lim_{t \rightarrow t_0^-} u_1(t) = D_{v,1}(t_0) \cdot \lambda_1 + F_{v,1}(t_0) + G_{v,1}(u_1, t_0), \tag{13}$$

$$\lim_{t \rightarrow t_0^+} u_2(t) = D_{v,2}(t_0) \cdot \lambda_2 + F_{v,2}(t_0) + G_{v,2}(u_2, t_0) \tag{14}$$

болады. Осы шектердің мәндерін (7)-ші теңдікке қойып, сонымен бірге (9) теңдігін ескере отырып,

$$\begin{cases} Q_v(t_0) \cdot \lambda = F_v(t_0) + G_v(u, t_0), & \lambda \in R^{2n}, \\ P_v(t_0, \lambda_1, u_1) = 0, & t_0 \in (a, b), \end{cases} \tag{15}$$

теңдеулер жүйесін құрып аламыз, мұндағы

$$\begin{aligned}
 Q_v(t_0) = & \begin{pmatrix} B & C \\ I + D_{v,1}(t_0) & I + D_{v,2}(t_0) \end{pmatrix}, \\
 F_v(t_0) = & \begin{pmatrix} d \\ F_{v,2}(t_0) - F_{v,1}(t_0) - p \end{pmatrix}, \quad G_v(u, t_0) = \begin{pmatrix} O^{(1)} \\ G_{v,2}(u_2, t_0) - G_{v,1}(u_1, t_0) \end{pmatrix}, \\
 P_v(t_0, \lambda_1, u_1) = & t_0 + \beta \cdot ((I + D_{v,1}(t_0)) \cdot \lambda_1 + F_{v,1}(t_0) + G_{v,1}(u_1, t_0)).
 \end{aligned}$$

Параметр мен функцияның $(\lambda^{(0)}, u^{(0)}[t])$ жұбы бойынша $[t_1, t_2]$ аралығында үзінді-үзіліссіз

$$x^{(0)}(t) = \begin{cases} \lambda_1^{(0)} + u_1^{(0)}(t), & \text{егер } t \in [t_1, t_0), \\ \lambda_2^{(0)} + u_2^{(0)}(t), & \text{егер } t \in (t_0, t_2] \end{cases}$$

функциясын анықтап аламыз.

Құрып алған $Q_v(t_0): R^{2n} \rightarrow R^{2n}$ матрицасының (t_1, t_2) аралығының кез келген t_0 нүктесі үшін кері матрицасы бар болсын деп ұйғарамыз. Параметрлеу әдісіндегідей $\{(\lambda^{(k)}, u^{(k)}[t])\}$, $\{t_0^{(k)}\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ шамаларын төмендегі ретпен табамыз.

Қадам 0.

(a) $Q_v\left(\frac{a+b}{2}\right)\lambda = F_v\left(\frac{a+b}{2}\right)$ теңдеуін шешіп $\lambda^{(0)} = (\lambda_1^{(0)}, \lambda_2^{(0)}) \in R^{2n}$ параметрін табамыз;

(b) $\lambda_r = \lambda_r^{(0)}$ деп алып, $(t_0, t_r]$ аралығында $u_r^{(0)}(t) = D_{v,r}(t) \cdot \lambda_r^{(0)} + F_{v,r}(t)$ функциясын анықтап аламыз ($r = \overline{1, 2}$);

(c) $P_v(t_0, \lambda_1^{(0)}, u_1^{(0)}) = 0$ сызықтық емес теңдеуді шешу арқылы $t_0^{(0)} \in (t_1, t_2)$ табамыз.

Қадам 1.

(a) $Q_v(t_0^{(0)})\lambda = F_v(t_0^{(0)}) + G_v(u^{(0)}, t_0^{(0)})$ теңдеуін шешіп $\lambda^{(1)} = (\lambda_1^{(1)}, \lambda_2^{(1)}) \in R^{2n}$ параметрін табамыз;

(b) $\lambda_r = \lambda_r^{(1)}$ деп алып, $(t_0, t_r]$ аралығында $u_r^{(1)}(t) = D_{v,r}(t) \cdot \lambda_r^{(1)} + F_{v,r}(t) + G_{v,r}(u_r^{(0)}, t)$ функциясын анықтап аламыз ($r = \overline{1, 2}$);

(c) $P_v(t_0, \lambda_1^{(1)}, u_1^{(1)}) = 0$ сызықтық емес теңдеуді шешу арқылы $t_0^{(1)} \in (t_1, t_2)$ табамыз.

Қадам 2.

(a) $Q_v(t_0^{(1)})\lambda = F_v(t_0^{(1)}) + G_v(u^{(1)}, t_0^{(1)})$ теңдеуін шешіп $\lambda^{(2)} = (\lambda_1^{(2)}, \lambda_2^{(2)}) \in R^{2n}$ параметрін табамыз;

(b) $\lambda_r = \lambda_r^{(2)}$ деп алып, $(t_0, t_r]$ аралығында $u_r^{(2)}(t) = D_{v,r}(t) \cdot \lambda_r^{(2)} + F_{v,r}(t) + G_{v,r}(u_r^{(1)}, t)$ функциясын анықтап аламыз ($r = \overline{1, 2}$);

(c) $P_v(t_0, \lambda_1^{(2)}, u_1^{(2)}) = 0$ сызықтық емес теңдеуді шешу арқылы $t_0^{(2)} \in (t_1, t_2)$ табамыз. Т.с.с.

Бұл алгоритмнің орындалу және жинақты болу шарттары алынған. Және осы шарттар (1)-(4) есебінің оқшауланған шешімі бар болуды қамтамасыз етеді.

Мысал $[0, 1]$ сегментінде келесі тестілік есепті қарастырамыз:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + f(t), \quad t \in (0, 1) \setminus \left\{ \frac{1}{2} \right\}, \quad x \in R^2$$

$$x(t_* + 0) - x(t_* - 0) = p, \quad t_* + \beta \cdot x(t_* - 0) = 0, \quad Bx(0) + Cx(1) = d,$$

$$A(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{t+2} & \frac{1}{2} \\ 0 & t \end{pmatrix}, \quad f(t) = \eta(t_* - t)f_1(t) + \eta(t - t_*)f_2(t), \quad \eta(t) = \begin{cases} 1, & \text{егер } t \geq 0, \\ 0, & \text{егер } t < 0, \end{cases}$$

$$f_1(t) = \begin{pmatrix} \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{t+2} \right) \cos t + \left(1 - \frac{1}{5(t+2)} \right) \sin t + \frac{t^3}{4} + \frac{3}{2} \\ \frac{t^4}{2} - \frac{3t^2}{2} + 3t \end{pmatrix},$$

$$f_2(t) = \begin{pmatrix} \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{t+2} \right) \cos t + \left(1 - \frac{1}{5(t+2)} \right) \sin t + \frac{t^3}{4} - \frac{t+5}{t+2} \\ \frac{t^4}{2} - \frac{3t^2}{2} - 2t \end{pmatrix},$$

$$p = \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \end{pmatrix}, \quad \beta = \begin{pmatrix} 3 & \\ 10 \cos 0.3 - 2 \sin 0.3 & 0 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -0.5 & 1 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, d = \begin{pmatrix} \cos 1 - 0.2 \sin 1 + 0.5 \\ -4 \end{pmatrix}.$$

Бұл есептің дәл шешімі $\left(x^*(t) = \eta(t_* - t) \begin{pmatrix} 0.2 \sin t - \cos t \\ -3 - 0.5t^3 \end{pmatrix} + \eta(t - t_*) \begin{pmatrix} 0.2 \sin t - \cos t + 3 \\ 2 - 0.5t^3 \end{pmatrix}, t_* = 0.3 \right)$ жұбы.

Тестілік есеп болған соң, мақалада ұсынылған алгоритм бойынша қойылған есептің жуық шешімін табамыз. Ол үшін $\nu = 3$ аламыз. Есептеу барысында $P_\nu(t_0, \lambda_1, u_1) = 0$ теңдеуінің шешімін табу үшін әр қадамда дихотомия әдісі қолданылды. Теңдеудің шешімін $\varepsilon = 0.000001$ дәлдігімен анықталды.

Төмендегі кестелерде әр қадамдағы есептеу нәтижелері келтірілген (Кесте 1-6).

Кесте 1. 0-ші қадамдағы $[0, t_*^{(0)}]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

m	t_m	$\lambda_{11}^{(0)} + u_{11}^{(0)}(t_m)$	$\lambda_{12}^{(0)} + u_{12}^{(0)}(t_m)$
1	0.0000000000	-0.9990132524	-2.9982212631
2	0.0500000000	-0.9876979784	-2.9982815383
3	0.1000000000	-0.9739102275	-2.9987123472
4	0.1500000000	-0.9576844269	-2.9998886393
5	0.2000000000	-0.9390612308	-3.0021853294
6	0.2500000000	-0.9180873920	-3.0059772940
7	0.2995922863	-0.8950145067	-3.0115846219

Кесте 2. 0-ші қадамдағы $[t_*^{(0)}, 1]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

ℓ	t_ℓ	$\lambda_{21}^{(0)} + u_{21}^{(0)}(t_\ell)$	$\lambda_{22}^{(0)} + u_{22}^{(0)}(t_\ell)$
1	0.2995922863	2.1082897492	1.9897819483
2	0.3000000000	2.1084796609	1.9897245722
3	0.3500000000	2.1329611038	1.9814834745
4	0.4000000000	2.1597597829	1.9706101225
5	0.4500000000	2.1888006175	1.9567426689
6	0.5000000000	2.2200015585	1.9395186546
7	0.5500000000	2.2532737973	1.9185742681
8	0.6000000000	2.2885220531	1.8935436277
9	0.6500000000	2.3256449500	1.8640581364
10	0.7000000000	2.3645355007	1.8297459738
11	0.7500000000	2.4050817107	1.7902317972
12	0.8000000000	2.4471673239	1.7451367422
13	0.8500000000	2.4906727252	1.6940788246
14	0.9000000000	2.5354760224	1.6366738624
15	0.9500000000	2.5814543280	1.5725370537
16	1.0000000000	2.6284852649	1.5012853631

Кесте 3. 1-ші қадамдағы $[0, t_*^{(1)}]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

m	t_m	$\lambda_{11}^{(1)} + u_{11}^{(1)}(t_m)$	$\lambda_{12}^{(1)} + u_{12}^{(1)}(t_m)$
1	0.0000000000	-0.9999985308	-2.9999990083
2	0.0500000000	-0.9887528953	-3.0000615070
3	0.1000000000	-0.9750358870	-3.0004990033
4	0.1500000000	-0.9588817914	-3.0016864970
5	0.2000000000	-0.9403309849	-3.0039989882
6	0.2500000000	-0.9194298349	-3.0078114768
7	0.2999994457	-0.8962308528	-3.0134988878

Кесте 4. 1-ші қадамдағы $[t_*^{(1)}, 1]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

ℓ	t_ℓ	$\lambda_{21}^{(1)} + u_{21}^{(1)}(t_\ell)$	$\lambda_{22}^{(1)} + u_{22}^{(1)}(t_\ell)$
1	0.2999994457	2.1037691452	1.9865011116
2	0.3000000000	2.1037694149	1.9865010368
3	0.3500000000	2.1292085436	1.9785634765
4	0.4000000000	2.1568242142	1.9680009099
5	0.4500000000	2.1865474016	1.9544383382
6	0.5000000000	2.2183038131	1.9375007631
7	0.5500000000	2.2520140741	1.9168131859
8	0.6000000000	2.2875939266	1.8920006086
9	0.6500000000	2.3249544394	1.8626880330
10	0.7000000000	2.3640022309	1.8285004614
11	0.7500000000	2.4046397019	1.7890628961
12	0.8000000000	2.4467652802	1.7440003395
13	0.8500000000	2.4902736740	1.6929377943
14	0.9000000000	2.5350561352	1.6355002634
15	0.9500000000	2.5810007312	1.5713127496
16	1.0000000000	2.6279926257	1.5000002571

Кесте 5. 2-ші қадамдағы $[0, t_*^{(2)}]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

m	t_m	$\lambda_{11}^{(2)} + u_{11}^{(2)}(t_m)$	$\lambda_{12}^{(2)} + u_{12}^{(2)}(t_m)$
1	0.0000000000	-0.9999985349	-2.9999990065
2	0.0500000000	-0.9887528995	-3.0000615053
3	0.1000000000	-0.9750358913	-3.0004990015
4	0.1500000000	-0.9588817957	-3.0016864953
5	0.2000000000	-0.9403309893	-3.0039989864
6	0.2500000000	-0.9194298394	-3.0078114750
7	0.2999994457	-0.8962308573	-3.0134988859

Кесте 6. 2-ші қадамдағы $[t_*^{(2)}, 1]$ аралығындағы жуық шешімнің мәндері

ℓ	t_ℓ	$\lambda_{21}^{(2)} + u_{21}^{(2)}(t_\ell)$	$\lambda_{22}^{(2)} + u_{22}^{(2)}(t_\ell)$
1	0.2999994457	2.1037691427	1.9865011141
2	0.3000000000	2.1037694124	1.9865010392
3	0.3500000000	2.1292085411	1.9785634789
4	0.4000000000	2.1568242117	1.9680009124
5	0.4500000000	2.1865473991	1.9544383408
6	0.5000000000	2.2183038106	1.9375007657
7	0.5500000000	2.2520140717	1.9168131886
8	0.6000000000	2.2875939242	1.8920006113
9	0.6500000000	2.3249544371	1.8626880359
10	0.7000000000	2.3640022285	1.8285004644
11	0.7500000000	2.4046396996	1.7890628992
12	0.8000000000	2.4467652779	1.7440003427
13	0.8500000000	2.4902736717	1.6929377976
14	0.9000000000	2.5350561330	1.6355002669
15	0.9500000000	2.5810007291	1.5713127533
16	1.0000000000	2.6279926236	1.5000002610

Белгілеулер енгіземіз:

$$\max_{t_m \in [0, t_*^{(s)}]} |\lambda_{11}^{(s)} + u_{11}^{(s)}(t_m) - x_1^*(t_m)| = \varepsilon_{11}^{(s)},$$

$$\max_{t_m \in [0, t_*^{(s)}]} \left| \lambda_{12}^{(s)} + u_{12}^{(s)}(t_m) - x_2^*(t_m) \right| = \varepsilon_{12}^{(s)}, \quad \max_{t_\ell \in [t_*^{(s)}, 1]} \left| \lambda_{21}^{(s)} + u_{21}^{(s)}(t_\ell) - x_1^*(t_\ell) \right| = \varepsilon_{21}^{(s)},$$

$$\max_{t_\ell \in [t_*^{(s)}, 1]} \left| \lambda_{22}^{(s)} + u_{22}^{(s)}(t_\ell) - x_2^*(t_\ell) \right| = \varepsilon_{22}^{(s)}, \quad \varepsilon^{(s)} = \max \left\{ \varepsilon_{11}^{(s)}, \varepsilon_{12}^{(s)}, \varepsilon_{21}^{(s)}, \varepsilon_{22}^{(s)} \right\}.$$

Жоғарыдағы 1-6 кестелерден келесі қорытынды жасай аламыз (Кесте 7):

Кесте 7. Бағалаулар

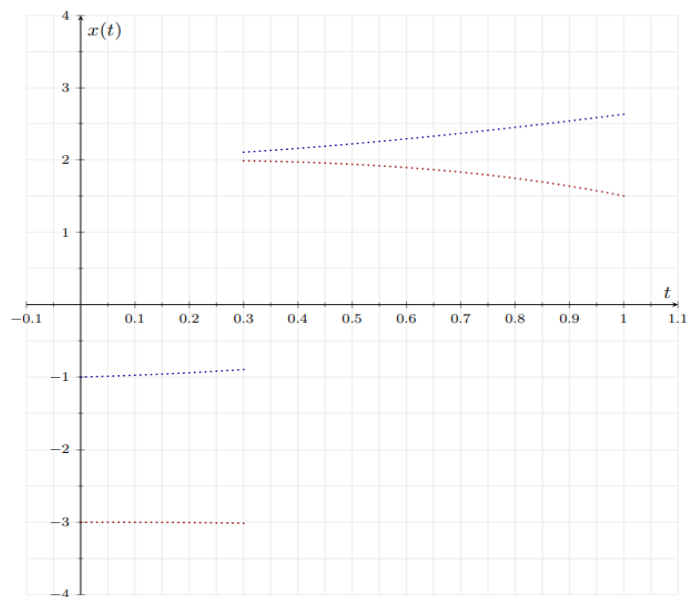
s	$\varepsilon_{11}^{(s)} \leq$	$\varepsilon_{12}^{(s)} \leq$	$\varepsilon_{21}^{(s)} \leq$	$\varepsilon_{22}^{(s)} \leq$	$\varepsilon^{(s)} \leq$
0	0.0014162549	0.0018604115	0.0047205109	0.0032269817	0.0047205109
1	0.0000018647	0.0000010374	0.0000018627	0.0000010368	0.0000018647
2	0.0000018602	0.0000010392	0.0000018602	0.0000010392	0.0000018602

7-ші кестеден ұсынылған алгоритмнің 2-ші қадамында есептің жуық шешімін $2 \cdot 10^{-6}$ -дан аспайтын дәлдікпен табылғанын көреміз.

Әр қадамда табылған бекітілмеген уақыт мезеті үшін төмендегі бағалаулар орындалады:

$$t_* - t_*^{(0)} < 0.00041, \quad t_* - t_*^{(1)} < 0.000000555, \quad t_* - t_*^{(2)} < 0.000000555,$$

демек, t_* нүктесі $1 \cdot 10^{-6}$ -дан аспайтын дәлдікпен табылды (Сурет 1).



Сурет 1. 2-ші қадамда табылған шешім: көк – $x_1^{(2)}(t)$, қызыл – $x_2^{(2)}(t)$

Қорытынды

Бұл жұмыста дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бекітілмеген мезетінде импульстік әсері бар екі нүктелі шеттік есептің жуық шешімін табудың бір тәсілі ұсынылды. Ұсынылған тәсіл Д.С. Джумабаевтың дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін екі нүктелі шеттік есепті зерттеуге арналған параметрлеу әдісінің идеяларына толықтай сүйенеді. Келтірілген тестілік есептің осы тәсілмен шешімін табуда ұсынылған тәсілдің жоғары дәлдікпен нәтижеге жеткізетінін көрдік.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті (Грант №АР19675193) қаржыландырады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Samoilenko A.M. *Impulsive Differential equations* / A.M. Samoilenko and M.O. Perestyuk // Singapore: World Scientific, 1995, 472 p.
- 2 Jiao J. *Analysis of a stage-structured predator-prey system with birth pulse and impulsive harvesting at different moments* / J. Jiao, S. Cai, and L. Chen // *Nonlinear Analysis: Real World Applications*. 2011. Vol. 12. no. 4. P. 2232-2244. DOI: 10.1016/j.nonrwa.2011.01.005.
- 3 Nie L. *Dynamic analysis of an SIR epidemic model with state dependent pulse vaccination*, / L. Nie, Z. Teng, and A. Torres // *Nonlinear Analysis: Real World Applications*. 2012. Vol. 13. no. 4. P. 1612-1629. DOI: 10.1016/j.nonrwa.2011.11.019.
- 4 Cordova-Lepe F. *Stability analysis of a self-cycling fermentation model with state-dependent impulse times* / F. Cordova-Lepe, R. Del Valle, and G. Robledo // *Math. Methods Appl. Sci*. 2011. Vol. 37. no. 4. P. 2232-2244. DOI: 10.1002/mma.2907.
- 5 Akhmetov M.U. and Perestyuk N.A. *Stability of periodic solutions of differential equations with impulse action on surfaces*. *Ukr. Mat. Zh.* 41 (1989), No. 12, 1596–1601 English translation: *Ukr. Math. J.* 41 (1989), No. 12, 1368–1372.
- 6 Akhmet M.U. *On the general problem of stability for impulsive differential equations* / M.U. Akhmet // *J. Math. Anal. Appl.* 2003. Vol. 288. no. 1. P. 182-196. DOI: 10.1016/j.jmaa.2003.08.001.
- 7 Gabor G. *The existence of viable trajectories in state-dependent impulsive systems* / G. Gabor // *Nonl. Anal.* 2010. Vol. 72. no. 9-10. P. 3828-3836. DOI: 10.1016/j.na.2010.01.019
- 8 Rachunkova I. *Existence principle for higher-order nonlinear differential equations with state-dependent impulses via fixed point theorem* / I. Rachunkova, I. Tomecek // *Boundary Value Problems*. 2014. Vol. 2017. no. 118. DOI: 10.1186/1687-2770-2014-118.
- 9 Rachunkova I. *A constructive approach to boundary value problems with state-dependent impulses* / I. Rachunkova, L. Rachunek, A. Ronto, and M. Ronto // *Appl. Math. Comp.* 2016. Vol. 274. P. 726-744. DOI: 10.1016/j.amc.2015.11.033.
- 10 Ronto A. *Investigation of solutions of state-dependent multi-impulsive boundary value problems* / A. Ronto, I. Rachunkova, M. Ronto, and L. Rachunek // *Georgian Math. J.* 2017. Vol. 24. no. 2. P. 287-312. DOI: 10.1515/gmj-2016-0084.
- 11 Samoilenko A.M. *Periodic solutions of weakly nonlinear systems with impulse action* / A.M. Samoilenko, N.A. Perestyuk // *Diff. Equat.*, 1978. Vol. 14. no.16, P. 1034-1045.
- 12 Hakl R. *Almost periodic evolution systems with impulse action at state-dependent moments* / R. Hakl, M. Pinto, V. Tkachenko, and S. Trofimchuk // *J. Math. Anal. Appl.* 2017. Vol. 446. no.1. P. 1030-1045. DOI: 10.1016/j.jmaa.2016.09.024.
- 13 Dvornyk A.V. *Almost periodic solutions for systems with delay and non-fixed times of impulsive actions* / A.V. Dvornyk, V.I. Tkachenko // *Ukr. Math. J.* 2017. Vol. 68. P. 1673-1693. DOI: 10.1007/s11253-017-1320-z.
- 14 Dzhumabayev D.S. *Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation*, *USSR Comput. Maths. Math. Phys.*, 29 (1989), 34-46.
- 15 Dzhumabaev D.S. *Solvability of a linear boundary value problem for a Fredholm integro-differential equation with impulsive inputs*, *Differential Equations*, 51:9 (2015), 1180-1197.

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

МРНТИ 27.31.44
УДК 519.6

10.51889/2959-5894.2023.83.3.004

**APPLICATION OF THE FICTITIOUS REGION METHOD
TO SOLVING A MODEL OCEANOLOGY PROBLEM**

Akhmetova O.S.^{1}, Issayev S.A.²*

¹*Almaty brunch of Saint-Peterburg University of the Humanities and Social Sciences, Almaty, Kazakhstan*

²*Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan*

**e-mail: ah_oksa@mail.ru*

Abstract

The study of the laws of fluid motion has always been an important aspect of the development of both technical and natural sciences. The solution to various problems arising in the analysis of fluid dynamics can be carried out both at the theoretical level and through carefully designed physical experiments. However, in many cases, creating models to study fluid phenomena is challenging, especially in laboratory or field studies. Physical experiments aimed at the detailed study of fluid motion often encounter technical difficulties and require significant resources and financial costs. In addition, the data obtained from such experiments are often limited in their applicability. This is why mathematical modeling plays a significant role in research in fluid dynamics. This makes it possible to more efficiently and cheaply study various aspects of fluid motion, and also provides the opportunity to apply the results obtained more widely. Modeling allows you to consider various factors affecting fluid movement and analyze their impact on the final result. Thus, mathematical modeling becomes an important tool for understanding and improving fluid movement concepts in various science and technology fields. This article discusses the fictitious domain method for a linear ocean flow problem. A generalized solution to the problem is given and its uniqueness is proved. The theorem of existence and convergence of solutions to approximate models obtained using the fictitious domain method are studied.

Keywords: fictitious domain method, hydrodynamics, oceanology, viscous fluid, irregular domain, stationary problems, finite difference method.

Аңдатпа

О.С. Ахметова¹, С.А. Исаяев²

¹*Санкт-Петербург Гуманитарлық кәсіподақтар университеті Алматы филиалы, қ. Алматы, Қазақстан*

²*Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, қ. Алматы, Қазақстан*

ОКЕАНОЛОГИЯ МҮЛГІЛІК МӘСЕЛЕНІ ШЕШУ ҮШІН ЖАЛҒАН АЙМАҚТАР ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Сұйықтық қозғалысының заңдылықтарын зерттеу әрқашан техникалық және жаратылыстану ғылымдарының дамуының маңызды аспектісі болды. Сұйықтық динамикасын талдауда туындайтын әртүрлі мәселелерді шешу теориялық деңгейде де, мұқият құрастырылған физикалық тәжірибелер арқылы да жүзеге асырылуы мүмкін. Дегенмен, көптеген жағдайларда сұйықтық құбылыстарын зерттеу үшін модельдер жасау қиын, әсіресе зертханалық немесе далалық зерттеулерде. Сұйықтық қозғалысын егжей-тегжейлі зерттеуге бағытталған физикалық эксперименттер жиі техникалық қиындықтарға тап болады және айтарлықтай ресурстар мен қаржылық шығындарды талап етеді. Сонымен қатар, мұндай эксперименттерден алынған деректер көбінесе олардың қолданылуында шектеулі. Міне, сондықтан математикалық модельдеу сұйықтық динамикасы саласындағы зерттеулерде маңызды рөл атқарады. Бұл сұйықтық қозғалысының әртүрлі аспектілерін тиімдірек және арзанырақ зерттеуге мүмкіндік береді, сонымен қатар алынған нәтижелерді кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Модельдеу сұйықтықтың қозғалысына әсер ететін әртүрлі факторларды есепке алуға және олардың соңғы нәтижеге әсерін талдауға мүмкіндік береді. Осылайша, математикалық модельдеу ғылым мен техниканың әртүрлі салаларындағы сұйықтық қозғалысы туралы түсініктерді түсіну мен жетілдірудің маңызды құралына айналады. Бұл мақалада мұхит ағынының сызықтық мәселесі үшін жалған аймақтар әдісі талқыланады. Мәселенің жалпыланған шешімі келтіріліп, оның бірегейлігі дәлелденеді. Жалған домен әдісі арқылы алынған жуықталған модельдерге шешімдердің бар болуы және жинақтылығы теоремасы зерттеледі.

Түйін сөздер: жалған аймақтар әдісі, гидродинамика, океанология, тұтқыр сұйықтық, тұрақты емес домен, стационарлық есептер, шекті айырмашылықтар әдісі.

Аннотация

О.С. Ахметова¹, С.А. Исаев²

¹Алматының филиалы Санкт-Петербургского Гуманитарного университета профсоюзов, Алматы, Қазақстан

²Қазақстан ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОКЕАНОЛОГИИ

Изучение законов движения жидкостей всегда было важным аспектом в развитии как технических, так и естественных наук. Решение разнообразных задач, возникающих при анализе динамики жидкостей, может осуществляться как на теоретическом уровне, так и путем проведения тщательно разработанных физических экспериментов. Тем не менее, во многих случаях создание моделей для изучения явлений, связанных с движением жидкостей, представляет собой сложную задачу, особенно при проведении лабораторных или полевых исследований. Физические эксперименты, направленные на подробное изучение движения жидкости, часто сталкиваются с техническими сложностями, требуют значительных ресурсов и финансовых затрат. Кроме того, данные, полученные в результате таких опытов, зачастую ограничены в своей применимости. Именно поэтому математическое моделирование играет существенную роль в исследованиях в области гидродинамики. Это позволяет более эффективно и дешево исследовать различные аспекты движения жидкости, а также предоставляет возможность более широко применять полученные результаты. Моделирование позволяет учитывать разнообразные факторы, влияющие на движение жидкости, и анализировать их влияние на конечный результат. Таким образом, математическое моделирование становится важным инструментом для понимания и улучшения понятий о движении жидкостей в различных областях науки и техники. В данной статье рассматривается метод фиктивных областей для линейной задачи течения океана. Дается обобщенное решение задачи и доказывается его единственность. Исследованы теорема существования и сходимости решения приближенных моделей, полученных с помощью метода фиктивных областей.

Ключевые слова: метод фиктивных областей, гидродинамика, океанология, вязкая жидкость, нерегулярная область, стационарные задачи, метод конечных разностей.

Introduction

The study of processes occurring in the atmosphere and ocean is an important aspect of geophysics. When studying these phenomena, mathematical models based on systems of partial differential equations, mainly of the Navier-Stokes type, are actively used. Of particular interest are hydrodynamic models describing atmospheric processes, and important contributions to this area have been made by I.A. Kibel and his students [1].

Solving stationary problems of mathematical physics is an important part of computational mathematics. Some of them can be considered as limiting cases of non-stationary problems. When using asymptotic stationary methods, no attention is paid to the intermediate values of the solution, since they do not matter. Analytical methods leading to explicit solutions are rarely applicable, and approximate methods are most often used. This requires studying the correctness of boundary value problems for differential equations and their approximation, which includes the classical theory of differential equations and functional analysis [2].

Work by G.V. Demidov and G.I. Marchuk [3] was one of the first to study the correctness of mathematical models in meteorology and oceanology. Later this direction was developed in the works of Yu.Ya. Belov [4], B.A. Bubnov, A.V. Kazhikov, A.A. Kordzadze, V.I. Sukhonosov, Sh. Smagulov [5] and others.

In the work of V.P. Kochergin [7] studied a model of ocean dynamics in which the quasilinear terms $\frac{\partial u}{\partial t}$ and $\frac{\partial v}{\partial t}$ were absent in the first two equations of motion, and the seawater density diffusion equation was considered in full form.

One of the difficulties in numerically solving problems of mathematical physics is the arbitrariness of the domain boundary. To overcome this problem, the fictitious region method was proposed by V.K. Saulev. This idea was then developed in the works of V.Ya. Rivkinda, A.N. Konovalov, Sh. Smagulov and others.

Another feature of numerical methods for hydrodynamics problems is the non-evolutionary nature of the Navier-Stokes system of equations, which makes it difficult to use the effective method of fractional steps. In this regard, the idea of approximating the Navier-Stokes equations by equations of evolutionary type was put forward in the work of N.N. Vladimirov, B.G. Kuznetsov, N.N. Yanenko.

R. Temam proposed another method of ε -approximation, during which the behavior of the solution as $\varepsilon \rightarrow 0$ was studied and a difference scheme was developed that converged to the solution of the boundary value problem for the Navier-Stokes equations under certain conditions.

In the work of V. Ya. Rivkind presents various economic difference schemes such as fractional steps without introducing additional terms $\frac{1}{2} \bar{v}^\varepsilon \operatorname{div} \bar{v}^\varepsilon$ into the equations of motion and using a formal modification of nonlinear terms.

In the work of Yu. Ya. Belov proved a theorem on the existence of a generalized solution of the linearized Navier-Stokes system with a small parameter and obtained estimates for the rate of convergence as $\varepsilon \rightarrow 0$.

In the listed studies, mainly weak generalized solutions were considered (most often from the class $W_2^{1,1}(Q)$), but the work of P.E. Sobolevsky and V.V. Vasilyev presents for the first time a detailed study of a system with a small parameter, including the behavior of strong solutions.

Thus, one of the key directions in the development of mathematical modeling methods is associated with the study of approximate methods for solving complex multidimensional problems of mathematical physics. To effectively solve many applied problems associated with unstructured domains, the fictitious domain method is widely used, which is characterized by a high degree of automation in programming. The main concept of the fictitious domain method is to solve the problem not in the most complex initial domain D_0 , but in a simpler domain D , where $D_0 \subset D$. In this paper, we present a stationary problem of studying the fictitious domain method for a linear equation in oceanology.

Formulation of the problem

The linear problem describing ocean currents is reduced to solving the following equations in the region $\Omega_0 = (0, H) \cdot D_0$, $\Omega \subset R^2$:

$$\mu_0 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \mu \Delta u - \frac{\partial p}{\partial x} = f_1, \quad (1)$$

$$\mu_0 \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \mu \Delta v - \frac{\partial p}{\partial y} = f_2, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_0 g \quad (3)$$

with boundary conditions

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = \omega = 0, \quad \text{with } z = 0, \quad (x, y) \in D_0 \quad (4)$$

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \text{with } z = H, \quad (x, y) \in D_0 \quad (5)$$

$$u = v = 0 \quad \text{afloat } [0, H] \cdot \partial D_0, \quad (6)$$

where u, v is the velocity, ω is the vorticity in a limited simply connected region D_0 with the boundary ∂D_0 .

We integrate the second equation (3) with respect to z :

$$p = p(x, y, 0) - \rho_0 \int_0^z g dz.$$

Denoting $\xi(x, y) = p(x, y, 0)$ and integrating the first equation (3) $z \in [0, H]$ using conditions (4), (5), we write equations (1) – (6) in equivalent form:

$$\mu_0 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \mu \Delta u - \frac{\partial \xi}{\partial x} = F_1, \quad (7)$$

$$\mu_0 \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \mu \Delta v - \frac{\partial \xi}{\partial y} = F_2, \quad (8)$$

$$\int_0^H \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz = 0, \quad \int_{D_0} \xi dx dy = 0, \quad \frac{\partial \xi}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

with boundary conditions

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \text{with } z = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \text{with } z = H$$

$u = v = 0$ in $[0, H] \cdot \partial D_0$,
were

$$F_1 = f_1 + \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^z \rho_0 g dz \right), \quad F_2 = f_2 + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_0^z \rho_0 g dz \right).$$

We will solve problem (7) – (10) using the fictitious domain method. Then we add the original area D_0 to some D_2 , which can be, for example, a rectangle or a circle.

We introduce the notation: $\Omega_2 = (0, H) \cdot D_2$, $\Omega_1 = (0, H) \cdot D_1$, $D_1 = \frac{D_2}{D_0}$.

In the domain Ω_2 , we consider the auxiliary problem
in Ω_0

$$\mu_0 \frac{\partial^2 u^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta u^\varepsilon - \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial x} = F_1, \quad (11)$$

$$\mu_0 \frac{\partial^2 v^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta v^\varepsilon - \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial y} = F_2,$$

in Ω_1 :

$$\mu_0 \frac{\partial^2 u^\varepsilon}{\partial z^2} + \frac{1}{\varepsilon} \mu \Delta u^\varepsilon - \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial x} = F_1, \quad (12)$$

$$\mu_0 \frac{\partial^2 v^\varepsilon}{\partial z^2} + \frac{1}{\varepsilon} \mu \Delta v^\varepsilon - \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial y} = F_2,$$

$$\int_0^H \left(\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial y} \right) dz = 0, \quad \int_{D_2} \xi^\varepsilon dx dy = 0, \quad \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial z} = 0,$$

with boundary conditions

$$\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial z} = 0 \quad \text{with } z = H \quad (13)$$

$$\frac{\partial v^\varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial z} = 0 \quad \text{with } z = 0,$$

$$u^\varepsilon = v^\varepsilon = 0 \quad \text{in } [0, H] \cdot \partial D_2.$$

At the boundary ∂D_0 of the initial region we assume that the following matching conditions are satisfied:

$$\left\{ \frac{1}{\varepsilon} \mu \left[\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial x} \cos(\vec{n}, x) + \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial y} \cos(\vec{n}, y) \right] - \xi^\varepsilon \cos(\vec{n}, x) \right\} \Big|_{\partial D_0^-} = \left\{ \mu \left[\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial x} \cos(\vec{n}, x) + \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial y} \cos(\vec{n}, y) \right] - \xi^\varepsilon \cos(\vec{n}, x) \right\} \Big|_{\partial D_0^+}; \quad (14)$$

$$\left\{ \frac{1}{\varepsilon} \mu \left[\frac{\partial v^\varepsilon}{\partial x} \cos(\vec{n}, x) + \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial y} \cos(\vec{n}, y) \right] - \xi^\varepsilon \cos(\vec{n}, x) \right\} \Big|_{\partial D_0^-} = \quad (15)$$

$$= \left\{ \mu \left[\frac{\partial v^\varepsilon}{\partial x} \cos(\vec{n}, x) + \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial y} \cos(\vec{n}, y) \right] - \xi^\varepsilon \cos(\vec{n}, x) \right\} \Big|_{\partial D_0^+};$$

$$[\bar{u}^\varepsilon] |_{\partial D_0} = 0. \tag{16}$$

where $\bar{u}^\varepsilon = (u^\varepsilon, v^\varepsilon)$, the signs “+”, “-” mean that the limiting values of the function on the curve ∂D_0 are taken from inside and outside the region D_0 , respectively. In vector form, conditions (14), (15) can be written as follows:

$$\left[\frac{1}{\varepsilon} \mu \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \xi^\varepsilon \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^-} = \left[\mu \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \xi^\varepsilon \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^+}$$

We introduce the notation

$$\hat{C}^2(\Omega_2) = \left\{ (u, v \in C^2(\Omega_2), (u, v)|_{\partial D_2}) = 0, \quad z \in [0, H], \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \right.$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=H} = \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0, \quad \int_0^H \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz = 0 \right\};$$

$V_2(\Omega_2), \dot{V}_2^\ell(\Omega_2)$ – closure of $\hat{C}^2(\Omega_2)$ in the norm of the spaces $L_2(\Omega_2), W_2^\ell(\Omega_2)$, $\ell = -2; -1; 0; 1$.

Definition 1. A generalized solution to problem (11) – (16) is a function $\bar{u}^\varepsilon = (u^\varepsilon, v^\varepsilon) \in \dot{V}_2^1(\Omega_2)$ satisfying the following integral identity:

$$\int_0^H dz \int_{D_0} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial z} + \mu \nabla \bar{u}^\varepsilon \nabla \bar{\varphi} \right] dx dy + \int_0^H dz \int_{D_1} \left[\mu_0 \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial z} + \frac{\mu}{\varepsilon} \nabla \bar{u}^\varepsilon \nabla \bar{\varphi} \right] dx dy = \int_0^H dz \int_{D_0} \vec{F} \cdot \bar{\varphi} dx dy \tag{17}$$

where $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$, $\bar{\varphi} \in \dot{V}_2^1(\Omega_2)$, $\vec{F} = (F_1, F_2)$.

Lemma 1. Let $\vec{F}(x, y, z) \in W_2^{-1}(\Omega_0)$. Then there is a unique generalized solution to problem (11) – (17) and for it the estimate holds:

$$\left\| \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \right\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_0)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_1)}^2 \leq C \|\vec{F}\|_{W_2^{-1}(\Omega_0)}^2 \tag{18}$$

Proof of Lemma 1. We provide an estimate (18). To do this, multiply equations (11), (12) by \bar{u}^ε and integrate by parts

$$\mu_0 \left\| \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \right\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu_0 \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_0)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \mu \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_1)}^2 + \int_0^H \int_{D_1} \xi \left(\frac{\partial u^\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial y} \right) dx dy dz = \int_{\Omega_0} \vec{F} \bar{u}^\varepsilon dx.$$

From here, using the Hölder and Young inequality, we obtain (18). The existence of a solution is proved by the Galerkin method. Uniqueness follows from (18).

Definition 2. A strong solution to problem (11) – (17) is the function $\bar{u}^\varepsilon \in \dot{V}_2^1(\Omega_2) \cap W_2^2(\Omega_i)$, $\xi^\varepsilon \in W_2^2(\Omega_i)$, $i = 0, 1$, satisfying (11) – (17) almost everywhere.

Theorem 1. Let $\partial \Omega_0, \partial \Omega_2 \in C^2$, $\vec{F}(x, y, z) \in L_2(\Omega_0)$. Then the weak solution to problem (11) – (17) is strong and the estimate holds

$$\left\| \frac{\partial^2 \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \right\|_{L_2(\Omega_1)} + \|\bar{u}^\varepsilon\|_{W_2^2(\Omega_0)} + \frac{1}{\varepsilon} \|\bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(0,H,W_2^2(D_1))} + \|\xi^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_i)} \leq C \|\vec{F}\|_{L_2(\Omega_0)}, \quad i = 1, 2 \tag{19}$$

Proof of Theorem 1. We get (19).

Then we introduce the notation

$$\tilde{u}^\varepsilon = \int_0^H u^\varepsilon dz, \quad \tilde{v}^\varepsilon = \int_0^H v^\varepsilon dz, \quad \tilde{\xi}^\varepsilon = H\xi^\varepsilon,$$

$$T_1 = \int_0^H F_1 dz + \mu_0 \frac{\partial u^\varepsilon}{\partial z} \Big|_{z=0}, \quad T_2 = \int_0^H F_2 dz + \mu_0 \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial z} \Big|_{z=0}.$$

Integrating (11), (12) over $z \in [0, H]$ we obtain in D_0

$$\mu \Delta \tilde{u}^\varepsilon - \frac{\partial \tilde{\xi}^\varepsilon}{\partial x} = T_1, \tag{20}$$

$$\mu \Delta \tilde{v}^\varepsilon - \frac{\partial \tilde{\xi}^\varepsilon}{\partial y} = T_2,$$

in D_1

$$\frac{1}{\varepsilon} \mu \Delta \tilde{u}^\varepsilon - \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\xi}^\varepsilon = 0, \tag{21}$$

$$\frac{1}{\varepsilon} \mu \Delta \tilde{v}^\varepsilon - \frac{\partial}{\partial y} \tilde{\xi}^\varepsilon = f,$$

$$\frac{\partial \tilde{u}^\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{v}^\varepsilon}{\partial y} = 0.$$

In addition, the functions $\tilde{u}^\varepsilon, \tilde{v}^\varepsilon$ satisfy the boundary conditions

$$\tilde{u}^\varepsilon|_{\partial D_2} = \tilde{v}^\varepsilon|_{\partial D_2} = 0, \quad \tilde{u}^\varepsilon|_{\partial D_0} = \tilde{v}^\varepsilon|_{\partial D_0} = 0, \tag{22}$$

$$\left[\mu \frac{\partial \tilde{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \tilde{\xi}^\varepsilon \cdot \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^+} = \left[\frac{\mu}{\varepsilon} \frac{\partial \tilde{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \tilde{\xi}^\varepsilon \cdot \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^-}$$

Using known estimates of problem (20) – (22), we obtain

$$\|\tilde{u}^\varepsilon\|_{W_2^2(D_0)} + \frac{1}{\varepsilon} \|\tilde{u}^\varepsilon\|_{W_2^2(D_1)} + \|\tilde{\xi}^\varepsilon\|_{W_2^1(D_1)} + \|\tilde{\xi}^\varepsilon\|_{W_2^2(D_0)} \leq C \|\vec{T}\|_{L_2(D_2)} \tag{23}$$

Then from equations (11), (12) we have the force

$$\mu_0 \left\| \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} \right\|_{L_2(\Omega_2)} + \mu \|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_0)} + \frac{\mu}{\varepsilon} \|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_1)} \leq C \left(\|\vec{F}\|_{L_2(\Omega_0)} + \|\nabla \xi^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \right)$$

This inequality (23) guarantees estimate (19). The theorem has been proven.

Remark 1. Estimate (18) allows us to go to the limit as $\varepsilon \rightarrow 0$ in integral identity (17). From (18) it follows that from the sequence $\{\vec{u}^\varepsilon\}$ we can select a subsequence that weakly converges in $\dot{V}_2^1(\Omega_2)$.

Denotes its limit through \vec{u}^0 . Passing to the limit in (17), it turns out that \vec{u}^0 corresponds to \vec{u} , i.e. It is a generalized solution to problems (7) – (10). From estimate (19) it follows that the strong solution of problem (11) – (17) as $\varepsilon \rightarrow 0$ approaches the strong solution of problem (7) – (10).

Then we estimate the rate of convergence of the solution to problem (11) – (17) as $\varepsilon \rightarrow 0$. Let $\vec{u}^{\varepsilon_1}, \vec{u}^{\varepsilon_2}$ be solutions to problems corresponding to parameters $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. Takes the place of the next Theorem 2.

Theorem 2. Let the conditions of Lemma 1 be satisfied. Then the solution to problem (11) – (17) satisfies the estimate

$$\|\vec{u}^{\varepsilon_1} - \vec{u}^{\varepsilon_2}\|_{W_2^1(\Omega_0)}^2 \leq C_1(\varepsilon_1 + \varepsilon_2), \tag{24}$$

in which the constant C_1 depends on $\vec{F}(x, y, z)$ and does not depend on ε . Let us introduce the notation $\vec{u}^{\varepsilon_1} - \vec{u}^{\varepsilon_2} = \vec{w}$. By virtue of (11) – (17), the function \vec{w} satisfies the relations:

$$\begin{aligned} \mu_0 \int_0^H dz \int_{D_2} \frac{\partial \vec{\omega}}{\partial z} \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial z} dx dy + \mu \int_0^H dz \int_{D_0} \nabla \vec{\omega} \cdot \nabla \vec{\varphi} dx dy + \frac{\mu}{\varepsilon_1} \int_0^H dz \int_{D_1} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_1} \nabla \vec{\varphi} dx dy + \\ + \frac{\mu}{\varepsilon_2} \int_0^H dz \int_{D_1} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_2} \nabla \vec{\varphi} dx dy = 0, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\int_0^H \left(\frac{\partial \omega_1}{\partial x} + \frac{\partial \omega_2}{\partial y} \right) dz = 0, \quad \vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2).$$

Let $\vec{\varphi} = \vec{\omega}$ in (25).

$$\mu_0 \left\| \frac{\partial \vec{\omega}}{\partial z} \right\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \vec{\omega}\|_{L_2(\Omega_0)}^2 + \int_0^H dz \int_{D_1} \nabla \vec{\omega} \left(\frac{\mu}{\varepsilon_1} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_1} + \frac{\mu}{\varepsilon_2} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_2} \right) dx dy = 0.$$

Then we estimate the third term using Hölder's inequality and taking into account estimate (18)

$$\begin{aligned} \left| \int_0^H dz \int_{D_1} \left(\frac{\mu}{\varepsilon_1} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_1} + \frac{\mu}{\varepsilon_2} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_2} \right) \nabla \vec{\omega} dx dy \right| \leq \left[\frac{\mu}{\varepsilon_1} \|\nabla \vec{u}^{\varepsilon_1}\|_{L_2(\Omega_1)} + \frac{\mu}{\varepsilon_2} \|\nabla \vec{u}^{\varepsilon_2}\|_{L_2(\Omega_1)} \right] \cdot \|\nabla \vec{\omega}\|_{L_2(\Omega_1)} \leq \\ \leq C \|F\|_{W_2^{-1}(\Omega_0)} \cdot \|\nabla \vec{\omega}\|_{L_2(\Omega_1)} \leq C_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \end{aligned}$$

Theorem 2 is proven.

Consider the following version of the fictitious area method in Ω_0

$$\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}^\varepsilon - \nabla \xi^\varepsilon = \vec{F}, \quad (26)$$

in Ω_1

$$\frac{1}{\varepsilon} \left(\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}^\varepsilon \right) - \nabla \xi^\varepsilon = 0, \quad (27)$$

with boundary conditions (13) – (16).

We define a generalized solution to this problem using the integral identity

$$\begin{aligned} \mu_0 \int_0^H dz \int_{D_0} \frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial z} \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial z} dx dy + \mu \int_0^H dz \int_{D_0} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_2} \nabla \vec{\varphi} dx dy + \\ + \frac{\mu_0}{\varepsilon} \int_0^H dz \int_{D_1} \frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial z} \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial z} dx dy + \frac{\mu}{\varepsilon} \int_0^H dz \int_{D_1} \nabla \vec{u}^{\varepsilon_2} \nabla \vec{\varphi} dx dy = \int_0^H dz \int_{D_0} (\vec{F}, \vec{\varphi}) dx dy, \end{aligned} \quad (28)$$

for all $\vec{\varphi}(x, y, z) \in \dot{V}_2^1(\Omega_2)$ similar to Definition 1.

Theorem 3. Let $\vec{F}(x, y, z) \in W_2^{-1}(\Omega_0)$. Then there is a unique generalized solution to problem (26), (27), (13) – (16) and the following estimates are valid:

$$\|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_0)} + \frac{1}{\varepsilon} \|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_1)} \leq C \|\vec{F}\|_{W_2^{-1}(\Omega_0)} \quad (29)$$

$$\|\vec{u}^\varepsilon - \vec{u}\|_{W_2^1(\Omega_0)} \leq C_3 \varepsilon \quad (30)$$

Let $\vec{\varphi}$ equal to \vec{u}^ε in identity (28). We get:

$$\mu_0 \|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_0)}^2 + \frac{\mu}{\varepsilon} \|\Delta \vec{u}^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_1)}^2 \leq \int_0^H dz \int_{D_0} \vec{F} \cdot \vec{u}^\varepsilon dx dy \leq \|\vec{F}\|_{W_2^{-1}(\Omega_0)} \|\vec{u}^\varepsilon\|_{W_2^1(\Omega_0)}$$

From here, using Young's inequality, it is easy to obtain (29). Estimate (30) is derived according to the scheme given for Theorem 2. The proof of Theorem 2 is complete.

Conclusion

The need and scientific significance of studying dynamic stability, predicting possible operating modes and their consequences are dictated by the need to improve environmental monitoring and the state of biological resources, predict the circulation of water masses and its variability in the medium term, and control the spread of pollution in the ocean. This approach is successfully used in oceanology, underwater acoustics and atmospheric physics and allows us to understand the nature of a number of hydrodynamic and acoustic phenomena, build models and obtain results that cannot be reproduced by other methods.

Thus, in the course of our research, the fictitious domain method for ocean dynamics models was considered and mathematically justified, in particular, the model problem was studied:

$$\begin{aligned} \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}^\varepsilon - \nabla \xi^2 &= \vec{F}, \quad \text{in } \Omega_1 \\ \frac{1}{\varepsilon} \left(\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}^\varepsilon \right) - \nabla \xi^\varepsilon &= 0, \quad \text{in } \Omega_1 \\ \int_0^H \operatorname{div} \vec{u}^\varepsilon dz &= 0, \quad \int_{D_2} \xi^\varepsilon dx dy = 0, \quad \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial z} = 0 \end{aligned}$$

with boundary conditions

$$\frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial z} = 0, \quad \text{with } z = H, \quad \frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial z} = 0, \quad \text{with } z = 0, \quad \vec{u}^\varepsilon = 0 \quad \text{with } (x, y, z) \in [0, H] \cdot \partial D_2$$

At the boundary ∂D_0 of the source domain, the following matching conditions are assumed to be satisfied:

$$\begin{aligned} [\vec{u}^\varepsilon] |_{\partial D_0} &= 0, \quad z \in [0, H], \\ \left[\mu \frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \xi^\varepsilon \cdot \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^+} &= \left[\frac{\mu}{\varepsilon} \frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial \vec{n}} - \xi^\varepsilon \cdot \vec{n} \right] \Big|_{\partial D_0^-} \end{aligned}$$

the signs “+” and “-” mean that the limiting values of the function on the curve ∂D_0 are taken from inside and outside the region D_0 , respectively.

A theorem for the existence of a weak solution to the presented problem was also proven and that, under certain conditions on ∂D_0 , ∂D_2 and \vec{F} , it is strong and the following convergence estimate is established:

$$\|\vec{u}^{\varepsilon_1} - \vec{u}^{\varepsilon_2}\|_{W_2^1(\Omega_0)} \leq C(\varepsilon_1 + \varepsilon_2).$$

Список использованных источников:

- 1 Кибель И.А. Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды. М.: Изд. техн. теор. литературы, 1957. – 375с.
- 2 Вабищевич П. Н. Метод фиктивных областей в задачах математической физики. М.: 2-издание. Изд. Ленанд, 2017. – 160с.
- 3 Марчук Г.И. Численные решения задачи динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 303с.
- 4 Белов Ю.Я. Об одной квазилинейной стационарной задаче динамики океана. // Численные методы механики сплошной среды. – 1977. – Т.8. – №4. – С.20-23
- 5 Смагулов Ш.С. Метод фиктивных областей для краевой задачи уравнений Навье-Стокса. – Новосибирск: Изд.ВЦ СО АН СССР. Препринт. – №68. – 1979. – 22с.
- 6 Васильев В.В., Соболевский П.Е. Об одной ε -аппроксимации уравнений Навье-Стокса. // Числ. методы механ. сплошной среды. – 1970. – Т.1. – №6. – С.13-17
- 7 Исаев С.А. Исследование неоднородной жидкости методом регуляризации // Вопросы качественной теории дифф. уравнений. – Алма-Ата: Изд.КазПИ им.Абая. – 1986. – С.77-81
- 8 Исаев С.А., Смагулов Ш. ε -аппроксимация уравнений неоднородной жидкости // Матем. моделир. нестационарных процессов. – Алма-Ата: Изд. Минвуза КазССР. – 1988. – С.3-7

9 P. Sun and C. Wang, *Distributed Lagrange multiplier/fictitious domain finite element method for Stokes/parabolic interface problems with jump coefficients*. *Journal of Applied Numerical Mathematics*, vol. 152, no. 4, pp. 199–220, 2020.

10 P. Sun, “Fictitious domain finite element method for Stokes/elliptic interface problems with jump coefficients,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 356, no. 3, pp. 81–97, 2019.

11 Daniele Boffi, Fabio Credali, Lucia Gastaldi. *On the interface matrix for fluid–structure interaction problems with fictitious domain approach*. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.401, Part B, 1 November 2022, 115650, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115650>

12 Mikihiro Tajima, Takayuki Yamada. *Topology optimization with geometric constraints for additive manufacturing based on coupled fictitious physical model*. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 417, Part A, 1 December 2023, 116415, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116415>

13 Ziyang Huang, Guang Lin, Arezoo M. Ardekani. *A consistent and conservative Phase-Field method for multiphase incompressible flows*. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 408, July 2022, 114116. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114116>

References:

1 Kibel I.A. (1957) *Vvedenie v gidrodinamicheskie metody kratkosrochnogo prognoza pogody*. [Introduction to Hydrodynamic Methods for Short-Term Weather Forecasting]. *Tekhniko-teoreticheskaya literatura* [Technical and Theoretical Literature], 375 (In Russian)

2 Vabishevich P.N. (2017) *Metod fiktivnyh oblastej v zadachah matematicheskoy fiziki*. [Method of Fictitious Domains for the Problem of Mathematical Physics], 2-izdanie. Lenand, 160 (In Russian)

3 Marchuk G.I. (1974) *Chislennye resheniya zadachi dinamiki atmosfery i okeana*. [Numerical solutions to the problem of atmospheric and ocean dynamics]. *Gidrometeoizdat*, 303 (In Russian)

4 Belov Yu.Ya. (1977) *Ob odnoj kvazilinejnoj stacionarnoj zadache dinamiki okeana*. [On a quasilinear stationary problem of ocean dynamics]. *Chislennye metody mekhaniki sploshnoj sredy*. [Journal of Numerical methods of continuum mechanics], T. 8, № 4, 20-23. (In Russian)

5 Smagulov Sh.S. (1979) *Metod fiktivnyh oblastej dlya kraevoj zadachi uravnenij Navye-Stoksa*. [Fictitious domain method for the boundary value problem of the Navier-Stokes equations]. *Novosibirsk: VC SO AN SSSR. Preprint*. [Computing Center of the USSR Academy of Sciences. Preprint], № 68, 22. (In Russian)

6 Vasilyev V.V., Sobolevsky P.E. (1970) *Ob odnoj ε -approximacii uravnenij Navye-Stoksa*. [On one ε -approximation of the Navier-Stokes equations.], *Chisl. Metody mekhan. Sploshnoj sredy*. [Journal of Number mechanical methods continuum]. T.1, № 6, 13-17. (In Russian)

7 Issayev S.A. (1986) *Issledovanie neodnorodnoj zhidkosti metodom regularizacii* [Study of an inhomogeneous fluid by the regularization method]. *Voprosy kachestvennoj teorii diff.uravnenij*. [Journal of Questions of qualitative theory of differential equations]. *Abai KazPI*, 77-81. (In Russian)

8 Issayev S.A., Smagulov Sh.(1988) *ε -approximaciya uravnenij neodnorodnoj zhidkosti [ε -approximation of the equations of an inhomogeneous fluid]*. *Matem. modelir. nestacionarnyh processov*. [Journal of Matem. modeler non-stationary processes]. *Minvuza KazSSR*. [Ministry of Higher Education of the Kazakh SSR], 3-7. (In Russian)

9 P. Sun and C. Wang, *Distributed Lagrange multiplier/fictitious domain finite element method for Stokes/parabolic interface problems with jump coefficients*. *Journal of Applied Numerical Mathematics*, vol. 152, no. 4, pp. 199–220, 2020.

10 P. Sun, “Fictitious domain finite element method for Stokes/elliptic interface problems with jump coefficients,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 356, no. 3, pp. 81–97, 2019.

11 Daniele Boffi, Fabio Credali, Lucia Gastaldi. *On the interface matrix for fluid–structure interaction problems with fictitious domain approach*. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.401, Part B, 1 November 2022, 115650, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115650>

12 Mikihiro Tajima, Takayuki Yamada. *Topology optimization with geometric constraints for additive manufacturing based on coupled fictitious physical model*. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 417, Part A, 1 December 2023, 116415, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116415>

13 Ziyang Huang, Guang Lin, Arezoo M. Ardekani. *A consistent and conservative Phase-Field method for multiphase incompressible flows*. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 408, July 2022, 114116. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114116>

APPLICATION OF THE DYNAMIC STANDARD MODEL IN OPERATIONAL PLANNING

Babich-Gaury A.V.¹, Babich V.V.²

¹ *DHL Finance Services B.V. Maastricht, The Netherlands*

² *Almaty Branch of the St. Petersburg Humanitarian University of Trade Unions, Almaty, Kazakhstan*

**e-mail: mme_kazgay@mail.ru*

Abstract

The article discusses the applied aspect of the use of mathematical models in the operational management of a company, in particular in the process of operational planning. Approbation of the model based on the method of dynamic programming for a specific object of study will be carried out. The key integral indicators that affect the efficiency of company management are determined. These indicators allow determining the strengths and weaknesses in the main business processes, adjust tactical objectives and improve the decision-making process. Integral indicators can serve as quantitative guidelines when setting strategic goals and, on the basis of them, motivational operational tasks can be set, which are assessed at the end of the calendar period. The dynamic programming model allows you to determine the priority sequence of changes in controllable factors according to the level of growth rate to achieve an effective result within the framework of achieving the strategic goal of profitable sustainable growth of the company.

Keywords: economic model, law of diminishing returns, operational planning, integral indicator, rank correlation, elasticity, growth scale effect, inversion, hypothesis testing.

Аңдатпа

А.В. Бабич-Гаури¹, В.В. Бабич²

¹ *DHL Finance Services B.V., Маастрихт, Нидерланды*

² *Санкт-Петербург кәсіподақтар гуманитарлық университетінің Алматы филиалы, Алматы қ., Қазақстан*

ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ЖОСПАРЛАУДА ДИНАМИКАЛЫҚ СТАНДАРТ ҮЛГІСІН ҚОЛДАНУ

Мақалада компанияны жедел басқаруда, атап айтқанда операциялық жоспарлау процесінде математикалық модельдерді қолданудың қолданбалы аспектісі қарастырылады. Белгілі бір зерттеу объектісі үшін динамикалық бағдарламалау әдісіне негізделген модельді апробациялау жүргізіледі. Компанияны басқару тиімділігіне әсер ететін негізгі интегралды көрсеткіштер анықталды. Бұл көрсеткіштер негізгі бизнес-процестердің күшті және әлсіз жақтарын анықтауға, тактикалық мақсаттарды түзетуге және шешім қабылдау процесін жақсартуға мүмкіндік береді. Интегралдық көрсеткіштер стратегиялық мақсаттарды белгілеу кезінде сандық бағдар ретінде қызмет ете алады және олардың негізінде күнтізбелік кезеңнің соңында бағаланатын мотивациялық жедел тапсырмалар қойылуы мүмкін. Динамикалық бағдарламалау моделі компанияның табысты тұрақты өсуінің стратегиялық мақсатына қол жеткізу шеңберінде тиімді нәтижеге жету үшін өсу қарқынының деңгейіне сәйкес басқарылатын факторлардың өзгерістерінің басымдық реттілігін анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: экономикалық модель, төмендейтін кіріс заңы, операциялық жоспарлау, интегралдық көрсеткіш, дәрежелік корреляция, икемділік, өсу шкаласының әсері, инверсия, гипотезаны тексеру.

Аннотация

А.В. Бабич-Гаури¹, В.В. Бабич²

¹ *DHL, Маастрихт, Нидерланды*

² *Алматинский филиал Санкт-Петербургского Гуманитарного Университета Профсоюзов, г.Алматы, Казахстан*

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО НОРМАТИВА В ОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ

В статье рассматривается прикладной аспект использования математических моделей в операционном управлении компанией, в частности в процессе операционного планирования. Проводится апробация модели, основанной на методе динамического программирования для конкретного объекта исследования. Определяются ключевые интегральные показатели, влияющие на эффективность управления компанией. Данные показатели позволяют определить сильные и слабые стороны в основных бизнес-процессах, откорректировать тактические задачи и совершенствовать процесс принятия решений. Интегральные показатели могут служить количественными ориентирами при постановке стратегических целей и на основании их могут задаваться мотивационные операционные задачи, которые оцениваются по истечению календарного периода. Модель

динамического программирования позволяет определить приоритетную последовательность изменения управляемых факторов по уровню темпа роста для достижения эффективного результата в рамках выполнения стратегической задачи прибыльного устойчивого роста компании.

Ключевые слова: экономическая модель, закон предельной убывающей отдачи, операционное планирование, интегральный показатель, ранговая корреляция, эластичность, эффект масштаба роста, инверсия, проверка гипотез.

Introduction

Operational planning is a process that takes place annually in a company that adheres to modern management methods. This process affects all divisions of the company and ends with the approval of the operating plan at the Board of Directors or Stake holder/owners management meetings.

Annual planning is about turning long-term business goals into short-term action plans for the year ahead. It contains insights from past performance and a clear roadmap with a timeline and focus points. This yearly plan should be realistic and achievable by using SMART methodology (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Timebound), while also being ambitious enough to move the business forward [1].

Operational planning is a mechanism that allows to develop the main tactical steps in achieving the strategic goals of the enterprise. The digitalization of the economy and technological innovations reduced the horizons of strategic planning, especially in high-tech industries, where the nature of technology adoption to the demand, leading to the change, accelerated significantly. In connection with such changes, the accuracy and importance of operational planning has significantly increased.

An operating plan is a document that contains a detailed description of how the company's goals will be achieved in the short term context it is between 6 and 18 month. Operational planning manages upcoming events, so plans are made for short periods of time, constantly supplemented, detailed, and adjusted. The main goal of the operating plan is to ensure stable and continuous operation in the current conditions, observing the deadlines and optimal use of all resources [2].

There are various approaches to the operational planning process. In this article, we will focus on methodology based on the dynamic standard model and the importance of key indicators that characterize the significant areas of the company's activities, built in accordance with economic laws: the law of marginal diminishing returns for the short term and compliance with the growth scale effect for the long term.

Management often rejects the use of economic laws out of ignorance or underestimation of their impact on operational planning processes. Such an approach in operational planning leads, as a rule, either to the unattainability of the tasks set, or to the lack of proper planning for a particular enterprise. When developing an operating plan, the company's management must consider both macroeconomic aspects, including macroeconomic risks, and microeconomic categories, such as, the type of industry, the type of market that affects pricing and the conditions for maximizing profits in a certain type of industry. Similar models have been considered by various researchers. In particular, the work "Static and Dynamic Assignment Models with Multiple Objectives, and Some Remarks on Organization Design" This particular study analyzes the model of extended linear programming which allows vector optimizations and dynamic interactions between assigned employees and corresponding positions where the possible measures and approaches are taken into consideration [3].

As we noted above, the objectives of the operational plan follow from the objectives of the strategic plan. Your strategic plan and your annual work-plan go together. The annual work/focus plan provides the nuts and bolts of how the core business will be operated, but without having the strategic planning framework the process of annual planning will not be considered as strategic [4]. Therefore, the key indicators in the operational planning model we are considering, were selected based on the achievability of the goals of the strategic plan. Manager identifies three streams of Operational Research (OR) within the strategy research field. The first describes the 'Strategic OR' stream while traditional OR techniques such as optimization, simulation and queuing approaches are used to address operational issues and typically within the private sector, which by virtue of its size and complexity is considered of strategic importance [5].

The object of the study was the company LOTTE Rakhat JSC. Based on public reporting data published on the website of the Kazakhstan Stock Exchange, the Key performance Indicators (KPIs) of 2019-2021 were generated. Based on these data, the proposed model was tested. Since the company is a manufacturing company with its own distribution network, it was necessary to choose indicators that would cover various aspects of activity. It should be noted that the analysis of production activities includes a number of diverse indicators, the interpretation of which does not always allow one to form a sufficiently clear idea of the direction and depth of manifestation of the relationships that have arisen between various indicators. In such a situation, it

is necessary to use integral indicators, with the help of which it becomes possible to express with one coefficient the assessment of the state of the economic system of an enterprise and determine the most significant factors influencing the process of managing the economic situation of the enterprise. To form an integral indicator, you can use the dynamic standard method. We will use a linear dynamic standard - that builds a strict ordering of indicators according to their growth rates.

In studies of the use of the methodology of the dynamic standard in the management of the economic system, it is noted that the selected indicators, arranged in a ranked series, make it possible to express the dynamics of the indicators in their mutual relation. Such a ranking of indicators evaluates the properties of a controlled economic system, which cannot be provided by a single indicator. From the point of view of management, "... by controlling the dynamics of indicators, it is possible not only to determine the direction of the enterprise's movement, but also to manage this movement in order to achieve the goals" [6].

The authors of the study [7] note that the use of the dynamic standard method is not entirely appropriate for use in assessing the level of management of an economic system. In particular, they note "The variety of interpretation options that characterize the essence of the final coefficient, calculation algorithms and criteria for assessing the boundaries of interpretations allow us to conclude that at present an unambiguous method for applying dynamic standards has not been developed, which predetermines the need for further research based on a representative sample using statistical and econometric methods. However, the method of using certain economic and mathematical methods is determined by the target setting and can be applied to a specific goal, and accordingly adapted to specific tasks/processes. Economists usually distinguish between two types of efficiency: technical and capacity management. Technical efficiency refers to maximizing activities or outcomes from a fixed set of resources, while capacity management is concerned with directing resources to their most productive use to achieve the best overall benefits [8].

Life Cycle Cost evaluates the relative cost-effectiveness of alternative investments and business decisions, from the perspective of an economic decision maker such as a manufacturing firm or a consumer. Therefore, properly and fully integrating meaningful economic analysis with Life Cycle Assessment (LCA) requires going well beyond simply treating economic cost as "just another flow," or as another property of flows, within LCA software. It requires the addition of a time dimension to the modeling; the ability to introduce and work with variables that have no causal dependence upon inventory flows; and the ability to create and work with probabilistic scenarios [9].

When we analyze the economic system, we assume that many indicators are dependent on each other. Therefore, when choosing a model, this factor must be taken into account. Rank models avoid this effect. As the author of one of the studies notes, "with strong suspicions, if we know in advance that the data are dependent, we carry out the transition from the original "continuous" data to ranks [10].

There is a certain algorithm of the dynamic standard method:

1) Based on the business model, key performance indicators are selected, which are reflected in the financial statements or are determined on its basis.

2) At the stage of operational planning, a normative rank of priority for the growth of the selected indicators is built.

3) Based on the results of the analyzed period, the actual rank of indicators is determined, which, as a rule, differs from the normative rank. The purpose of the method is such that the level of these differences should be minimal.

4) The magnitude of deviations is estimated, the main factors that do not allow achieving the planned result are determined, and a new reference rank series is built.

When we analyze the economic system, we assume that many indicators are dependent on each other. Therefore, when choosing a model, this factor must be taken into account. Rank models avoid this effect. As the author of one of the studies notes, "with strong suspicions, if we know in advance that the data are dependent, we carry out the transition from the original "continuous" data to ranks [10].

Any enterprise is a complex interconnected system that includes various areas of activity. For example, an enterprise may have a production site, its own logistics and delivery system for raw materials and materials, its own distribution network, a marketing department, a financial department, and a management team. Each of the above divisions has its own goals and objectives, which should make the goals of the operational and then strategic plans achievable. To manage the company, it is necessary, according to the SMART framework, to have indicators that can assess the achievement of goals, identify problem areas and adjust plans for future periods. Accordingly, the question arises of developing such indicators that would allow for a comprehensive assessment of the level of achievability of the goals set. We propose to apply the dynamic standard method.

This method is based on a structural-dynamic model that allows describing a controlled system (enterprise) from the point of view of the integrated efficiency of using its total resources [11].

The dynamic standard model is based on the analysis of the dynamics of the company's key performance indicators, which are formed by various departments according to areas of responsibility. The model allows you to establish relationships between indicators and, most importantly, to prioritize the dynamics of each indicator, which is extremely important for choosing the best management solution. Thus, the dynamic standard model represents the normative or standardized mode of the best functioning of the enterprise to achieve the goals of operational and strategic planning. Using the dynamic standard method allows you to identify problem areas, both at the tactical and strategic levels. The identified deviations as a result of using the model make it possible to determine the priorities for regulating the control system with the diagnosis of the main indicators that gave the maximum deviations of the actual indicators from the given standard level.

There is a certain algorithm of the dynamic standard method:

1) Based on the business model, key performance indicators are selected, which are reflected in the financial statements or are determined on its basis.

2) At the stage of operational planning, a normative rank of priority for the growth of the selected indicators is built.

3) Based on the results of the analyzed period, the actual rank of indicators is determined, which, as a rule, differs from the normative rank. The purpose of the method is such that the level of these differences should be minimal.

4) The magnitude of deviations is estimated, the main factors that do not allow achieving the planned result are determined, and a new reference rank series is built.

Hypothesis and model

Using the dynamic standard model involves performing a number of procedures and testing hypotheses. Firstly, a number of key indicators are selected, on the basis of which the priority rank of the growth of these indicators is built. Secondly, integral indicators are determined and, on the basis of them, the hypothesis of the significance or absence of significance of the rank correlation is tested. To apply the dynamic norm model, it is necessary to compare the actual rank with the normative one, determine the inversions and calculate the Spearman coefficient. Next, test the hypothesis about its significance. According to the theorem, if K is the Spearman correlation coefficient constructed for a sample of size n with independent components, then

$$K \mapsto N\left(0, \frac{1}{n-1}\right), n \rightarrow \infty \quad (1)$$

If K is the sample value of the Spearman correlation coefficient, then when testing the hypothesis of feature independence, the significance level is determined:

$$\alpha_{kp} = P\{|K| > |\hat{K}|\} = 2[1 - \Phi(\sqrt{n-1} |\hat{K}|)] \quad (2)$$

In this article, we will define the Spearman correlation coefficient as follows:

$$K = 1 - \frac{6 \sum y_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

Where

n – is the sample size,

$Y_i = X_i - M_i$ – is the difference between the sequence of ranks (X_i) and (M_i) according to two features.

The calculation of inversions is based on the following condition:

$$m_i = \sum_{p=i+1}^n a_p = \begin{cases} 1, & r_i > r_p \\ 0, & r_i < r_p \end{cases} \quad (4)$$

Where

i – the place of the indicator in question in the normative series,

m – is the number of inversions for the i -th indicator,

p – places of indicators compared with the considered one,

n – is the number of indicators included in the model,

a_p – is a function that characterizes the inversion of the p -th indicator with the i -th indicator,

r_i, r_p – ranks that have indicators in the actual ordered series.

Based on the determined Spearman's coefficient, the null hypothesis about the absence of the significance of the rank correlation coefficient is tested. To test the hypothesis at a given significance level α , a critical point is determined:

$$T_{kp} = t_{kp}(\alpha, k) \cdot \sqrt{\frac{1 - K^2}{n - 2}} \quad (5)$$

Where

n – is the sample size,

K – is Spearman's sample rank correlation coefficient,

$t_{cr}(\alpha, k)$ – is the critical point of the two-sided critical region according to the Student's distribution at the significance level α and the number of degrees of freedom $k = n - 2$. Then the hypothesis about the significance of the sample Kendall's rank correlation coefficient is tested. The sample rank correlation coefficient is determined by the formula:

$$\Theta = 1 - \frac{4 \sum m_i}{n(n-1)} \quad (6)$$

Where

n – is the sample size,

m_i – ranks of i -th indicators,

E – is Kendall's sample rank correlation coefficient.

To test the null hypothesis for a given significance level α , the critical point is calculated:

$$T_{kp} = z_{kp} \cdot \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}} \quad (7)$$

Where

n – is the sample size,

z_{cr} – is the critical point of the two-sided critical region determined from the table of the Laplace function $\Phi(z_{cr}) = (1 - \alpha) / 2$.

If the Kendall sample rank correlation coefficient is greater than the critical point, that is, $|E| > T_{cr}$ – the null hypothesis is rejected and the alternative one is accepted, which indicates a significant rank correlation.

Model Results

Based on the law of marginal diminishing returns, which is used in the short run, that is, at the stage of operational planning, the company can change one of the resources, usually the labor resource, since it takes a period of more than a year to change the amount of capital. Thus, one of the indicators will be the determination of the optimal amount of human capital. In order to optimize, it is necessary that with an increase in human capital, the ratio of the excess of the marginal product of labor over the average product of labor is observed:

$$\frac{\partial Q}{\partial L} \geq \frac{Q}{L} \quad (8)$$

Where

Q – is the volume of output,

L – is the average headcount.

To ensure sustainable profitable growth in the long run, it is necessary to observe a positive effect of scale of growth, which can be determined using the elasticity coefficient, which allows you to determine how much the rate of change in revenue outpaces the rate of change in total costs associated with operations:

$$E = \frac{\Delta R\%}{\Delta TC\%} \quad (9)$$

Where

ΔR – change in revenue in%,

ΔTS – change in total costs in%.

In order to achieve a positive scale effect, the growth rate of revenue must be higher than the growth rate of costs. Thus, based on the above ratios, we have chosen certain indicators, the growth rate of which should be set in a certain order or otherwise ranked.

The outstripping growth rate should have the volume of output and revenue, which directly affect the operating profit. This is followed by variable costs that correlate with the rate of growth in output and the rate of growth in revenue. Fixed costs must rise at a slower rate to achieve economies of scale.

Speaking about variable costs, it should be noted that in real practice, many costs attributed to fixed are conditionally fixed, which are usually reflected in accounting. Almost all companies allocate such costs as payroll. We noted above that the law of marginal diminishing returns is used to test the effectiveness of a company's activities in the short run. One of the important indicators is the observance of the condition that the growth rate of labor productivity is ahead of the growth rate of average wages. In conditions of high inflation rates, unfortunately, the reverse trend is observed. Therefore, in the list of selected indicators, we will also include the indicator of the average wage fund. Thus, for the implementation of the model, we selected the indicators of the company LOTTE Rakhat JSC, which are given in Table. 1.

Table 1. Key indicators of JSC "LOTTE Rakhat"

Indicators	2019	2020	2021
Sales volume (tons)	79 154	73 443	69 292
Revenue (thousand tenge)	63 385 532	62 364 561	65 433 477
Variable Costs (thousand tenge)	(47 843 915)	(45 170 172)	(49 147 237)
Average headcount (person)	3 390	3 218	2 791
Fixed Costs (thousand tenge)	(6 987 866)	(8 136 502)	(9 104 807)
Total Costs (thousand tenge)	(54 831 781)	(53 306 674)	(58 252 044)
Marginal Product Labor (tons/person)	30,5	33,2	9,7
Average Product Labor (tons/person)	23,3	22,8	24,8
Staff Salary (thousand tenge)	(9 652 339)	(9 742 677)	(10 278 220)
Operating profit (thousand tenge)	8 940 988	9 274 481	8 121 432
Growth scale effect	0,83	1,73	0,53

To use the dynamic norm model, the indicators we have chosen were distributed in a normative order according to the priority of growth. The indicators are given in Table 2.

Table 2. Normative rank of key indicators of the company LOTTE Rakhat JSC

Indicators	Regulatory rank
Sales volume (tons)	1
Revenue (thousand tenge)	2
Average Product Labor (tons/person)	3
Staff Salary (thousand tenge)	4
Variable Costs (thousand tenge)	5
Fixed Costs (thousand tenge)	6
Total Costs (thousand tenge)	7

Based on the data in Table 2, we will test the hypothesis about the significance of the Spearman sample correlation coefficient. The data for calculating the Spearman coefficient are given in Table. 3.

Table 3. Determination of the Spearman sampling coefficient

Indicators	Regulatory rank	Growth rate 2021/2020	Actual rank	Yi	Inversions mi	Yi ²
Sales volume (tons)	1	0,9435	7	-6	6	36
Revenue (thousand tenge)	2	1,0492	6	-4	5	16
Average Product Labor (tons/person)	3	1,0878	4	-1	3	1
Staff Salary (thousand tenge)	4	1,0550	5	-1	3	1
Variable Costs (thousand tenge)	5	1,0880	3	2	2	4
Fixed Costs (thousand tenge)	6	1,1190	1	5	0	25
Total Costs (thousand tenge)	7	1,0928	2	5	0	25
Total					19	108

Based on the data in Table 3, we determine the Spearman sample coefficient and test the null hypothesis H0:K=0 about the Spearman general rank correlation coefficient being equal to zero. According to the data presented by us, the Spearman coefficient is: K = - 0.9286. To test the hypothesis at a given significance level α=0.95, we determine the critical point:

$$T_{kp} = t_{kp}(\alpha, \kappa) \cdot \sqrt{\frac{1 - K^2}{n - 2}} = 2,57 \cdot \sqrt{\frac{1 - (-0,9286)^2}{5}} = 0,4266$$

Since |K|>Tcr is the null hypothesis that there is no rank correlation between qualitative indicators, it is rejected, and an alternative hypothesis is accepted, which indicates a significant rank correlation between features. Accordingly, the indicators we have chosen do have a certain priority in the rate of change.

Analyzing the Spearman coefficient, we can conclude that the estimate of the approximation in terms of quantitative indicators is quite good. However, the actual series has a different direction of growth rate priorities in contrast to the normative one. Therefore, it is necessary to consider in more detail the factors that influenced these deviations. It should be noted that the company is growing, but its growth is not effective. In 2019 and 2021, the company experienced negative economies of scale. The reduction in costs in 2020 did not allow to overcome the rate of decline in sales volumes in physical terms, resulting in a decrease in revenue. Therefore, the company is faced with the task of achieving an increase in the rate of sales volumes, not in value terms, including the inflation component, but in physical terms.

Similarly, the hypothesis of the significance of the Kendall sample rank correlation coefficient is tested. Based on the available data, Kendall's sample rank correlation coefficient is E = - 0.8095. To test the null hypothesis for a given significance level α, we calculate the critical point:

$$T_{kp} = z_{kp} \cdot \sqrt{\frac{2(2n + 5)}{9n(n - 1)}} = 1,96 \cdot \sqrt{\frac{38}{378}} = 0,6214$$

Since |E|>Tcr is the null hypothesis about the absence of the significance of the sample Kendall's rank correlation coefficient, it is rejected and the alternative one, which indicates a significant rank correlation, is accepted. The integral indicators obtained by us are quite close to unity in absolute value, which indicates a fairly stable system of operational planning at the object we are studying. Since both coefficients are significant, it is possible to determine the indicator of the quality of management of the studied object of activity:

$$K_{umm} = \frac{(1 + K)(1 + E)}{4} = \frac{(1 + 0,9286)(1 + 0,8095)}{4} = 0,8724$$

Analyzing the obtained integral indicator of the quality of management as a whole, we can conclude that operational planning in the company is quite high. Management allows you to increase the rate of profit.

However, the outpacing growth of variable and distribution costs leads to a decrease in gross margin and the absence of profitable sustainable growth, due to the lack of economies of scale growth.

Conclusion

Summing up the application of the dynamic standard model in operational planning, a number of conclusions can be drawn:

1) The method allows you to determine the key factors affecting the company's operations, covering various business processes.

2) The selected parameters have the dynamics of change, which characterizes the achievability of the selected goals and allows you to adjust the operating plans to achieve the strategic goals of the company.

3) When choosing indicators, you can apply the rate of change of both absolute and relative values, which is very important when evaluating the effectiveness of a company.

4) The number of indicators should not expand as much as possible, since with an increase in the number of indicators, the informational validity of the dynamic standard method first increases, and then begins to decline.

5) The possibility of evaluating the effectiveness of management activities through one integral indicator, which can be included in the motivation programs for management personnel.

6) Deviations of the normative rank from the actual one make it possible to identify bottlenecks in the company's activities, take the right tactical steps and change the operating plans for the next period.

References:

- 1 What is Annual Planning? [Electronic resource] – URL: <https://www.cascade.app/blog/annual-planning-guide> Date of the application (24.05.2023)
- 2 Как составлять операционный план. [Electronic resource] – URL: <https://habr.com/ru/articles/692686/> Date of the application (24.05.2022)
- 3 A. Charnes, W. W. Cooper, R. J. Niehaus and A. Stedry. *Static and Dynamic Assignment Models with Multiple Objectives, and Some Remarks on Organization Design.* [Electronic resource] – URL: <https://www.jstor.org/stable/2628592> Date of the application (24.05.2023)
- 4 The Difference Between Strategic Planning and Annual Planning. <https://www.starboardleadership.com> Date of the application (24.05.2023).
- 5 Juan Pablo Torres, Martin Kunc, Frances O'Brien. *Supporting strategy using system dynamics. The European Journal of Operational Research.* Volume 260, Issue 3, 1 August 2017, Pages 1081-1094. [Electronic resource] – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article> Date of the application (24.05.2023)
- 6 Acceptance of dynamic standards in the financial and economic analysis of the development of organizations. DOI: 10.17308/meps.2021.5/2598
- 7 Salova A.S. Esina O.N. *Problems of development of the methodology of dynamic standards in the framework of economic diagnostics of the enterprise.* [Electronic resource] – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44928660> Date of the application (24.05.2023)
- 8 Nina J. Zhu, reda M. Lebcir, Franco Saassi. *Using system dynamics modelling to assess the economic efficiency of innovations in the public sector* <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0263299>. [Electronic resource] – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263299> Date of the application (15.06.2023)
- 9 Gregory A. Norris *Sylvatica. Integrating Economic Analysis into LCA.* [Electronic resource] – URL: <https://lca-net.com/files> Harvard University 147 Bauneg Hill Road, North Berwick, ME 03906 USA. Дата обращения (24.05.2022) Date of the application (15.06.2023)
- 10 Zhelnova E. *Spearman's correlation coefficient.* [Electronic resource] – URL: <https://kpfu.ru> Date of the application (23.06.2023)
- 11 Turko V. Korshunov A. *Analysis of innovative development by the dynamic standard method.* [Electronic resource] – URL: <https://cyberleninka.ru/article> Date of the application (23.06.2023)

Д.Д. Жаксыгулова^{1*}, С.Ж. Рахметуллина¹, С.А. Гнатюк²

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина
*e-mail: daurija_zd@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ IOT

Аннотация

В статье проведен анализ протоколов решения IoT-задач и усовершенствованы стохастические модели функционирования беспроводных сенсорных сетей, использующие рандомизированные параметры сети (с переменным числом узлов и случайным участием узлов в отдельных группах узлов сети). Это позволило оценить вероятность коллизии сигналов и более эффективно проектировать протоколы связи Интернета вещей. Полученные модели позволили оценить максимальное количество узлов, обеспечивающих качество передачи на уровне вероятности коллизии не выше определенного значения.

В частности, выяснено, что для достижения вероятности коллизии не выше определенного порога, требуется 50 узлов. При этом число узлов, участвующих в коллизии, незначительно по сравнению со средним числом передач. Результаты исследования могут быть использованы для разработки эффективной системы мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: IoT, мониторинг, беспроводные сенсорные сети, стохастическая модель, информационная безопасность, коллизия.

Аңдатпа

Д.Д. Жаксыгулова¹, С.Ж. Рахметуллина¹, С.А. Гнатюк²

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

²Ұлттық авиация университеті, Киев қ., Украина

IOT НЕГІЗІНДЕГІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІНЕ АРНАЛҒАН СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛЬДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада IoT есептерін шешу хаттамаларына талдау жүргізілді және рандомизацияланған желі параметрлерін қолданатын сымсыз сенсорлық желілердің жұмыс істеуінің стохастикалық модельдері жетілдірілді (түйіндердің ауыспалы саны және желілік түйіндердің жекелеген топтарындағы түйіндердің кездейсоқ қатысуы). Бұл сигналдардың соқтығысу ықтималдығын бағалауға және интернет заттарының байланыс хаттамаларын тиімдірек жобалауға мүмкіндік берді. Алынған модельдер белгілі бір мәннен жоғары емес соқтығысу ықтималдығы деңгейінде берілу сапасын қамтамасыз ететін түйіндердің максималды санын бағалауға мүмкіндік берді.

Атап айтқанда, соқтығысу ықтималдығы белгілі бір шектен аспауы үшін 50 түйін қажет екендігі анықталды. Бұл жағдайда соқтығысуға қатысатын түйіндердің саны берілістердің орташа санымен салыстырғанда шамалы. Зерттеу нәтижелерін қоршаған ортаны бақылаудың тиімді жүйесін әзірлеу үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: IoT, мониторинг, сымсыз сенсорлық желілер, стохастикалық модель, ақпараттық қауіпсіздік, коллизия.

Abstract

RESEARCH OF MODELS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR AN IOS-BASED MONITORING SYSTEM

Zhaxsygulova D.D.¹, Rakhmetullina S.Zh.¹, Gnatyuk S.O.²

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust'-Kamenogorsk, Kazakhstan

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

The article analyzes the protocols for solving IoT problems and improves stochastic models of the functioning of wireless sensor networks using randomized network parameters (with a variable number of nodes and random participation of nodes in separate groups of network nodes). This made it possible to estimate the probability of signal collisions and design Internet of Things communication protocols more efficiently. The obtained models allowed us to estimate the maximum number of nodes providing transmission quality at the level of collision probability not higher than a certain value. In particular, it was found out that 50 nodes are required to achieve a collision probability no higher than a certain threshold.

At the same time, the number of nodes involved in the collision is insignificant compared to the average number of transmissions. The results of the study can be used to develop an effective environmental monitoring system.

Keywords: IoT, monitoring, wireless sensor networks, stochastic model, information security, collision.

Введение

На сегодняшний день существует острая необходимость контроля и измерения почти всех физических величин в больших количествах и практически во всех областях человеческой деятельности. Использование датчиков и связанных с ними узлов связи дает представление об универсальности проблемы беспроводных сенсорных сетей (БСС) [1], в частности, в домах и зданиях; на промышленных объектах; на складах; в окружающей среде (в лесах, полях, над реками, в горах, в почве, в воздухе и т. д.); в условиях воздействия биологического и химического оружия; в автомобилях и самолетах; на движущихся перекрестках; на дне океана; внутри больших машин, вращающихся сфер, шаров; на поверхности океана во время торнадо; на поле боя за линией фронта; как индикатор для животных и товаров; в реках в сочетании с водной энергией и т.д.

Развитие электроники, информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) дало основания для реализации идеи измерения и контроля любых необходимых физических величин окружающей среды, производственных процессов, процессов управления, мониторинга и т. д. Такое огромное количество приложений измерительной техники, которая также реализуется в подвижных объектах, требует решений, связанных с техникой сбора, передачи и обработки информации для различных типов используемых процессов. Многие сетевые решения были разработаны и реализованы на основе предыдущего опыта внедрения ИКТ в концепции Интернета вещей (IoT) [2], которые представляют собой компьютерные сети физических объектов (т.е. вещей), которые оснащены технологиями для взаимодействия друг с другом.

Методология исследования

Стохастические модели БСС. Вероятностная модель, также известная как стохастическая модель, представляет собой математическую конструкцию, которая служит для описания явления, в котором составляющие элементы рассматриваются как случайные величины или случайные события. Поиск стохастических решений открывает широкий спектр надстроек, ранее непригодных для сетевых решений в некоторых приложениях (для невозможных до сегодняшнего момента реализаций). Они расширяют категорию решений для современных приложений, таких как мониторинг окружающей среды [3-4], мониторинг больниц [5] и многое другое. В связи с этим разработка информационных технологий мониторинга окружающей среды в концепции IoT является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное научное и практическое значение. Основной целью данного исследования является разработка и моделирование моделей БСС для системы мониторинга на базе Интернета вещей, которые могут быть реализованы для различных критических ситуаций.

Стохастические модели БСС разрабатывались для оценки вероятности коллизии сигналов в системе (в соответствии с представлениями [6-8]).

Обозначим $A_{s'}$ как событие, означающее отсутствие коллизии в интервале $[0, s]$ ($s > 0$). Также обозначим $P(A_{s'})$ как вероятность отсутствия коллизии в интервале $[0, s]$. Рассмотрим $[0, s]$, где $s > t_p$. Предположим, что $N(s) = j$, то есть количество передач в промежутке $[0, s]$ равно j ($j \geq 1$). Случайный вектор (U_1, \dots, U_j) времени между передачами равномерно распределяется в множестве $\Omega_t^* = \{(u_1, \dots, u_j) : u_1 + \dots + u_j \leq s\}$ с условной плотностью $f(u_1, \dots, u_j | N(s) = j) = j! / s^j$ for $(u_1, \dots, u_j) \in \Omega_t^*$, а также 0 сверх этого. Таким образом, условная плотность отсутствия коллизий в интервале $[0, s]$, полагая, что $N(s) = j$, равна:

$$P(A_{s'} / N(s) = j) = P(U_1 > t_p, \dots, U_j > t_p) = \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j,$$

где выражение x_+ определяется как $x_+ = x$ для $x \geq 0$ и $x_+ = 0$ для $x < 0$. Условная вероятность коллизии на интервале длины s , где $s > t_p$, по условию $N(s) = j$, формируется следующим выражением:

$$P(A_s / N(s) = j) = 1 - \left(1 - \frac{jt_p}{s}\right)_+^j. \quad (1)$$

Вероятность коллизии на интервале длины s , где $s > t_p$, определяется следующим выражением:

$$P(A_s) = \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} [1 - (1 - j\frac{t_p}{s})_+^j], \quad (2)$$

где n - количество узлов, T - среднее время между передачами узла, t_p - время передачи протокола.

Вопрос о количестве узлов, которые остаются в коллизии на интервале длины s , также анализируется для $s > t_p$. Вероятность коллизии в интервале длины s исследуется для $s > t_p$. Ниже представлены модели, характеризующие нижнюю и верхнюю оценки условной вероятности количества шестерен, остающихся конфликтными, в интервале длины s в предположении, что количество передач в интервале передачи находится в интервале длины s ($s > t_p$) и равно j .

Обозначим Y_s как количество коллизий передач в интервале длины s . В этом случае мы получим выражение:

$$\sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa/N(s) = j) \leq (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - \frac{t_p}{s})^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor},$$

$$\sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \leq P(Y_s = \kappa) \leq \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - \frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor}.$$

Модели, характеризующие нижнюю и верхнюю оценки ожидаемого количества конфликтующих шестерен и дисперсию количества конфликтующих шестерен в интервале длин s ($EY_s, D^2(Y_s)$). Предположим, что $s > t_p$. Тогда

$$\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa} \leq EY_s$$

$$\leq \sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor},$$

$$\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j - \lfloor \frac{\kappa+1}{2} \rfloor} \leq D^2(Y_s) \leq$$

$$\sum_{\kappa=2}^{\infty} \kappa^2 \sum_{j=2}^{\infty} e^{-n\frac{s}{T}} \cdot \frac{(n\frac{s}{T})^j}{j!} (j\frac{t_p}{s})^{\kappa-1} (1 - j\frac{t_p}{s})_+^{j-\kappa}.$$

Графики иллюстрируют вероятность коллизии в зависимости от количества узлов (датчиков) при заданном среднем времени между сообщениями (рис. 1), а также показывают зависимость от среднего времени передачи протокола, если задано количество узлов (рис. 2).

При среднем времени между передачами узла, равном 10 с, максимальное число узлов, обеспечивающее качество передачи на уровне вероятности, не превышающем 10^{-2} , равно 10, а при среднем времени между передачами узла, равном 30 с, максимальное количество узлов равно 50. Дальнейшее увеличение среднего времени между передачами узлов позволяет увеличить максимальное количество узлов. Для заданного количества узлов увеличение среднего времени между коллизиями приводит к уменьшению вероятности коллизии. С помощью графиков можно найти оптимальные значения параметров, влияющих на корректность передачи (n, T, t_p). Графики позволяют определить, в каком диапазоне качество передачи обеспечивается на данном уровне или при каких значениях (n, T, t_p) резко возрастает вероятность коллизии.

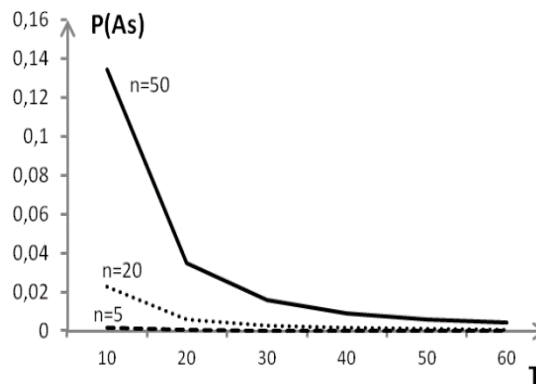


Рисунок 1. Вероятность коллизии на интервале s , где $s > t_p$ в зависимости от времени наблюдения $s = 180$ с и средним временем между передачами узла для $n = 5, 20, 50$

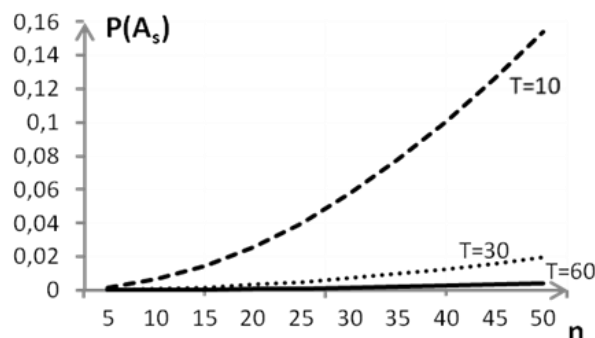


Рисунок 2. Вероятность коллизии на интервале s , где $s > t_p$ в зависимости от времени наблюдения $s = 180$ с и количества узлов, где $T = 10$ с., 30 с., 60 с.

Вы можете определить порядок значений вероятности коллизии для произвольно выбранных параметров: например, для $t_p = 3.2 \times 10^{-5}$, количество датчиков-преобразователей, равное 10, и при условии, что каждый датчик имеет среднее время передачи каждые $T = 60$ с, вероятность коллизии равна 1.65×10^{-4} . Трехмерная система координат (рис. 3) показывает множество конечных устройств $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ и множество конечных точек системы $B = \{b_1, \dots, b_m\}$ от начала набора координаторов сети $K = \{k_1, \dots, k_m\}$ (для начала $a = 1$).

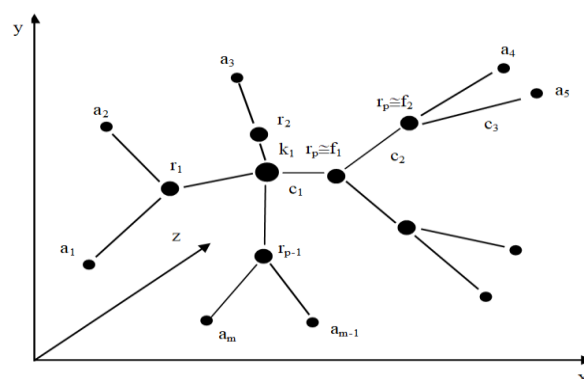


Рисунок 3. Модель конечной топологии БСС (первичные источники информации)

Таким образом, для вероятности коллизии получаются две зависимости (рис. 2-3). Первое выражение (1) описывает вероятность коллизии за короткое время t_p предоставления протокола, определяя вероятность неповрежденного предоставления протокола. Второе выражение (2) получено с использованием других свойств пуассоновского процесса относительно вероятности коллизии за достаточно большое время передачи.

Расстояние между точками $a(x_i, y_i, z_i)$ и $b(x_j, y_j, z_j)$ равно:

$$c_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}.$$

Существует множество таких расстояний $C = \{c_{11}, \dots, c_{m1}, \dots, c_{1n}, \dots, c_{mn}\}$. Расстояние между узлами не должно превышать максимально допустимую дальность передачи данных. Будем считать, что максимальная дальность передачи между любыми узлами БСС одинакова и равна toc_{\max} .

Экспериментальное исследование и обсуждение

Во многих приложениях предлагаемого решения сети с произвольным доступом указывается возможность разделения общего количества узлов на группы с разным средним временем между передачами. Такое деление имеет свое техническое обоснование, а именно, если в БСС поступают данные, относящиеся к разным физическим величинам с разной скоростью изменения их параметров.

Например, мониторинг параметров окружающей среды, в частности измерение суточных изменений температуры почвы и скорости ветра. Этот пример уже указывает на возможность различной периодичности проведения измерений таких величин.

Задача заслуживает внимания, поскольку возможность снижения интенсивности движения радиопакетов всегда благотворно сказывается в данном методе на повышение качества передачи. На приведенных ниже в этом разделе графиках представлены результаты экспериментальных исследований поведения WSN для различного процента узлов с разным средним временем между передачами [9,10].

Исследование проводилось для следующих процентов: 10% узлов со средними интервалами между передачами каждые 10 с и 90% со средними интервалами между передачами каждые 30 с (10 % / 10 с + 90 % / 30 с были записаны для уменьшения). В дальнейшем 10%/10 с + 90%/60 с. Следующие исследования для 1/3 (33%)/10 с + 2/3 (67%)/30 с и два исследования для 50%/10 с + 50%/30 с и 50%/10 с + 50% / 60 с. (Рис. 4 – Рис. 6).

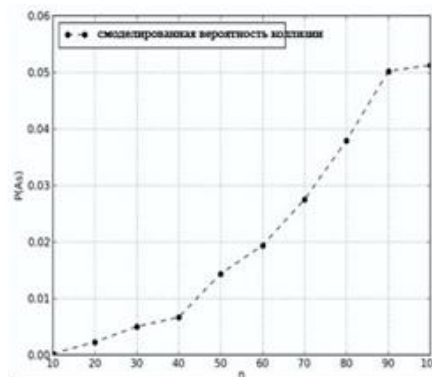


Рисунок 4. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$ с – это 10 % от общего числа узлов, а 90 % узлов работают со средним временем между передачами $T = 30$ с.

В представленной (упомянутой) задаче время протокола связи составляет $t_p = 3,2 \cdot 10^{-5}$ с.

Получены результаты моделирования, совместимые с ожидаемыми, которые следуют из ранее представленных авторами зависимостей.

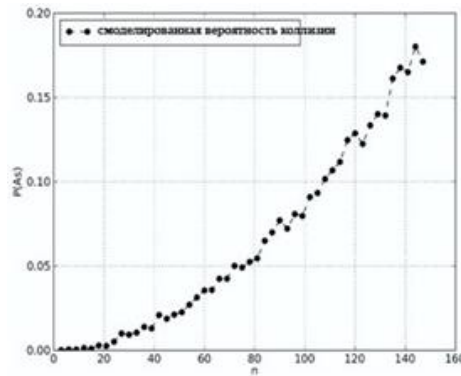


Рисунок 5. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$ с – это $1/3$ от общего числа узлов, а $2/3$ узлов работает со средним временем между передачами $T = 30$ с.

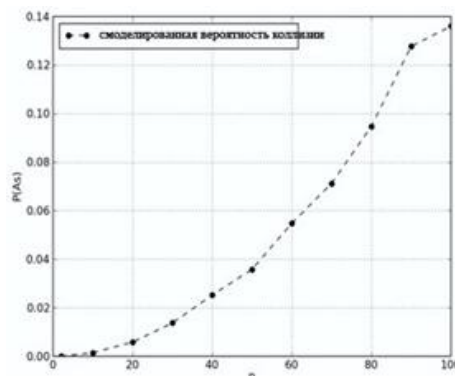


Рисунок 6. Влияние количества узлов с разным средним временем между передачами на вероятность коллизии: количество узлов со средним временем между передачами

$T = 10$ с составляет 50 % от общего числа узлов, остальные 50 % узлов работают со средним временем между передачами $T = 30$ с

Это указывает на то, что чем больше среднее время между передачами узлов T , тем лучше работает сеть (с меньшим количеством коллизий). Существенным условием является то, что длительность протокола связи t_p намного меньше среднего времени между передачами узлов T . Следовательно, если значительная часть пакетов в радиопространстве может транслироваться как можно реже, тем лучше для общего результата качества радиопередачи. Еще одним следствием этого факта, которое можно увидеть на графиках ниже по сравнению с полученными результатами, если узлы имеют только одно среднее время вещания, есть возможность увеличить пропускную способность сети (n узлов) для стабильного качества передачи, выраженную вероятностью коллизии.

Оценивалось и анализировалось качество передачи данных в БСС с произвольным доступом в зависимости от разного процента узлов в группах. Исследовано влияние групп узлов с переменными средними временами между передачами на качество передачи данных в БСС с произвольным доступом. По результатам модельных исследований подтверждена сходимость теоретических положений с данными, полученными при компьютерном моделировании БСС с произвольным доступом.

Заключение

Усовершенствованы стохастические модели функционирования беспроводных сенсорных сетей, использующие рандомизированные параметры сети (с переменным числом узлов и случайным участием узлов в отдельных группах узлов сети). Это позволило оценить вероятность коллизии сигналов и более эффективно проектировать протоколы связи Интернета вещей. Эти модели позволили оценить вероятность коллизии сигналов: максимальное количество узлов, обеспечивающих качество передачи на

уровне вероятности коллизии не выше 10^{-2} , равно 50, при этом количество узлов, участвующих в коллизии, пренебрежимо мало по сравнению со средним числом передач, в частности отношение среднего числа участвующих в коллизии узлов к среднему числу передач составляет 10^{-7} .

Дальнейшее развитие получила информационная технология мониторинга, которая за счет использования стохастических моделей беспроводных сенсорных сетей и усовершенствованного метода мониторинга позволила разработать программное и аппаратное обеспечение (с использованием Arduino, JavaScript, NodeJs, HTML и CSS) для мониторинга параметров окружающей среды в реальном времени в концепции IoT.

Данный комплекс оперативного мониторинга параметров окружающей среды может быть использован в качестве прототипа для организации мониторинга в динамически изменяющихся условиях и при возникновении различных критических ситуаций.

На основе разработанных математических моделей БСС были проведены модельные исследования по верификации теоретических зависимостей базиса вероятности коллизии от моделирования вероятности коллизии, что позволило верифицировать предложенные модели.

По результатам компьютерного моделирования БСС установлено соответствие полученных теоретических зависимостей вероятности коллизии для: а) одинакового среднего времени между передачами данных, б) случая разделения узлов на группы с разными средними временами между передачами данных. Оценивалось и анализировалось качество передачи данных в БСС с произвольным доступом в зависимости от разного процентного соотношения узлов в группах. Исследовано влияние групп узлов с переменными средними временами между передачами на качество передачи данных в БСС с произвольным доступом.

Список использованной литературы:

1 Рахман М.Э., Вахид К.А. «LDCA: упрощенный алгоритм динамической кластеризации для глобальной сети WSN, подключенной к Интернету вещей, и мобильного приемника данных с использованием LoRa» в журнале *IEEE Internet of Things*, том 9, № 2, 15 январь 2022, с. 1313-1325. <https://doi.org/10.1109/IOT.2021.3079096>.

2 Мазон-Оливо Б., Пэн А. «Интернет вещей: современное состояние, вычислительные парадигмы и эталонные архитектуры», в *IEEE LatinAmericaTransactions*, том 20, № 1, январь 2022, с. 49-63. <https://doi.org/10.1109/LTA.2022.9662173>.

3 Эрнандес-Альписар Л., Карраскилья-Батиста А., Санчо-Чаваррия Л. «Настройка мониторинга на основе текущих данных монитора IoT-COTS для химического анализа окружающей среды», 12-й Латиноамериканский симпозиум *IEEE по схемам и системам, (LASCAS) 2021*, с. 1-4. <https://doi.org/10.1109/LASCAS51355.2021.9459119>.

4 Цмоц Т., Кузьмин О., Кузьмин С. «Моделирование мониторинга окружающей среды с использованием беспроводных сенсорных сетей», 15-я Международная конференция *IEEE по компьютерным наукам и информационным технологиям, 2020 (CSIT)*, с. 361-364. <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322054>.

5 Залиский М., Одарченко Р., Гнатюк С., Петрова Ю., Чаплиц А. «Метод мониторинга трафика для обнаружения DDoS-атак в системах и сетях электронного здравоохранения», *Материалы семинара CEUR*, том 2255, 2018, с. 193-204.

6 Явич М., Кучухидзе Т., Иаивили Г., Гнатюк С., Боку Р. «Новый квантовый генератор случайных чисел с улучшенным методом сертификации», *Международный журнал математических наук и вычислений (IJMSC)*, Vol.7, №3, 2021, с. 41-53. <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2021.03.05>.

7 Шарифуллина А.Ю., Галямов Р.Р., Зарипова Р.С. «Технические принципы создания беспроводной локальной сети Wi-Fi» // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. Том 15. №7. 2020, с.28-33.

8 Гадерипур Ю., Динари Х. «Потоковый метод обнаружения сетевых вторжений с использованием регрессии опорных векторов (SVR) по некоторым отличительным признакам графа», *Международный журнал математических наук и вычислений (IJMSC)*, том 6, № 4, 2020, с. 1–11. <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2020.04.01>.

9 Чжэнбинг Ху, Одарченко Р., Гнатюк С., Залиский М., Чаплиц А., Бондарь С., Боровик В. «Статистические методы обнаружения кибератак на компьютерные сети на основе анализа аномального поведения трафика», *Международный журнал компьютерных сетей и информационной безопасности*, 2020, с. 1470-1475. <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832497>.

10 Белоусова Е.С., Алейникова Д.И. «Методы ликвидации коллизий при передаче данных в беспроводных сетях», 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов Минск БГУИР, 2021 г., том 7, № 1, 2021, с. 7-10.

11 Мукеш А.Н., Шарма П.К., Ядав В.П., Паял П.О., Соланки Л. «Проектирование и анализ гибкой антенны с усеченной кромкой для приложений Wi-Fi», *Международная конференция по электронике и возобновляемым системам, 2022 (ICEARS)*, с. 1861-1864, <https://doi.org/10.1109/ICEARS53579.2022.9752032>.

12 Астахова Т.Н., Верзун Н.А., Касаткин В.В., Колбанев М.О., Шамин А.А. *Исследование моделей связности*

сенсорных сетей. Информационно-управляющие системы, 2019, № 5, с. 38-50. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-38-50>

13 Ассим М., Аль-Омари А. «Проектирование и внедрение умного дома с использованием технологий WSN и IoT», Международная конференция по инновациям и интеллекту для информатики, вычислений и технологий, 2020 г (3ICT), 2020, с. 1-6. <https://doi.org/10.1109/3ICT51146.2020.9311966>.

References:

1 Rahman M.Je., Vahid K.A. (2022) LDCA: uproszhennyj algoritm dinamicheskoj klasterizacii dlja global'noj seti WSN, podkljuchennoj k Internetu veshhej, i mobil'nogo priemnika dannyh s ispol'zovaniem LoRa [LDCA: Lightweight Dynamic Clustering Algorithm for IoT-Connected Wide-Area WSN and Mobile Data Sink Using LoRa] Zhurnal IEEE Internet of Things, tom 9, № 2, 1313-1325. (in English) <https://doi.org/10.1109/IIOT.2021.3079096>.

2 Mazon-Olivo B., Pjen A. (2022) Internet veshhej: sovremennoe sostojanie, vychislitel'nye paradigmy i jetalonnye arhitektury [Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures] v IEEE LatinAmericaTransactions, tom 20, № 1, (in English) <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9662173>.

3 Jernandes-Al'pizar L., Karraskil'ja-Batista A., Sancho-Chavarrija L. (2021) «Nastrojka monitoringa na osnove tekushhij dannyh monitora IoT-COTS dlja himicheskogo analiza okruzhajushhej sredy» [Setting up monitoring based on the current data of the It-COTS monitor for chemical analysis of the environment] 12-j Latinoamerikanskij simpozium IEEE po shemam i sistemam, (LASCAS) 1-4. (in English) <https://doi.org/10.1109/LASCAS51355.2021.9459119>.

4 Смоц Т., Куз'мин О., Куз'мин С. (2020) Modelirovanie monitoringa okruzhajushhej sredy s ispol'zovaniem besprovodnyh sensoryh setej [Simulation of Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks] 15-ja Mezhdunarodnaja konferencija IEEE po komp'juternym naukam i informacionnym tehnologijam, 361-364. (in English) <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9322054>.

5 Zaliskij M., Odarchenko R., Gnatjuk S., Petrova Ju., Chaplic A. (2018) Metod monitoringa trafika dlja obnaruzhenija DDoS-atak v sistemah i setjah jelektronnogo zdravoohranenija [Method of traffic monitoring for DDoS attacks detection in e-health systems and networks] Materialy seminaru CEUR, tom 2255, 193-204. (in English)

6 Javich M., Kuchuhidze T., Iashvili G., Gnatjuk S., Boku R. (2021) Novyj kvantovij generator sluchajnyh chisel s uluchshennym metodom sertifikacii [A traffic monitoring method for detecting DDoS attacks in e-health systems and networks] Mezhdunarodnyj zhurnal matematicheskijh nauk i vychislenij (IJMSC), Vol.7, №3, 41-53. (in English) <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2021.03.05>.

7 Sharifullina A.Ju., Galjamov R.R., Zaripova R.S. (2020) Tehnicheskie principy sozdaniya besprovodnoj lokal'noj seti Wi-Fi [Technical principles of creating a wireless local area network Wi-Fi] // T-Comm: Telekommunikacii i transport. Tom 15. №7, 28-33. (in English)

8 Gaderipur Ju., Dinari H. (2020) Potokovij metod obnaruzhenija setevyh vtorzhenij s ispol'zovaniem regressii opornyh vektorov (SVR) po nekotorym otlichitel'nym priznakam grafa [A streaming method for detecting network intrusions using support vector regression (SVM) based on some distinctive features of the graph] Mezhdunarodnyj zhurnal matematicheskijh nauk i vychislenij (IJMSC), tom 6, № 4, 1–11. (in English) <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2020.04.01>.

9 Chzhjening Hu, Odarchenko R., Gnatjuk S., Zaliskij M., Chaplic A., Bondar' S., Borovik V. (2020) Statisticheskie metody obnaruzhenija kiberatak na komp'juternye seti na osnove analiza anomal'nogo povedenija trafika [Statistical methods for detecting cyber attacks on computer networks based on the analysis of abnormal traffic behavior] Mezhdunarodnyj zhurnal komp'juternyh setej i informacionnoj bezopasnosti, 1470-1475. (in English) <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832497>.

10 Belousova E.S., Alejnjkova D.I. (2021) Metody likvidacii kollizij pri peredache dannyh v besprovodnyh setjah [Methods for eliminating collisions in data transmission in wireless networks] 57-ja nauchnaja konferencija aspirantov, magistrantov i studentov Minsk BGUIR, 2021 g., tom 7, № 1, 7-10. (In Russian)

11 Mukesh A.N., Sharma P.K., Jadav V.P., Pajal P.O., Solanki L. (2022) Proektirovanie i analiz gibkoj anteny s usechennoj kromkoj dlja prilozhenij Wi-Fi [Design and Analysis of an Edge Truncated Flexible Antenna for Wi-Fi Applications] Mezhdunarodnaja konferencija po jelektronike i vozobnovljaemym sistemam, 1861-1864 (in English) <https://doi.org/10.1109/ICEARSS53579.2022.9752032>.

12 Astahova T.N., Verzun N.A., Kasatkin V.V., Kolbanev M.O., Shamin A.A. (2019) Issledovanie modelej svjaznosti sensoryh setej. Informacionno-upravljajushhie sistemy [Investigation of models of connectivity of sensor networks. Information management systems] 2019, № 5, 38-50. (In Russian) <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-38-50>

13 Ассим М., Аль-Омари А. (2020) Проектирование и внедрение умного дома с использованием технологий WSN и IoT [Designing and implementing a smart home using VPN and IoT technologies] Mezhdunarodnaja konferencija po innovacijam i intellektu dlja informatiki, vychislenij i tehnologij, (3ICT), 1-6. (in English) <https://doi.org/10.1109/3ICT51146.2020.9311966>.

У.К. Турусбекова^{1*}, М.М. Муратбеков², С.А. Алтынбек³, Ж.Е. Ахатова⁴

¹Учреждение «Esil University», г. Астана, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

³Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, Казахстан

⁴Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: umut.t@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТРУКТУР РЕКУРСИВНЫХ ЦИКЛОВ ПЕРВООБРАЗНЫХ КОРНЕЙ

Аннотация

Решение многих задач современной теории простых чисел позволяет, с одной стороны, углубить представление о том, как развивать фундаментальные основы математики, а с другой - создавать более эффективные арифметические методы построения быстрых алгоритмов или дискретных ортогональных преобразований при анализе и обработке сложных данных. Одной из проблем современной математики в совокупности с криптографией является задача поиска первообразных (примитивных) корней. В данной статье рассмотрена задача вычисления множества всех первообразных корней произвольного простого числа p . Кроме того, описана важность данной задачи в современном мире, в частности, использование теории первообразных корней в криптографии. Построен алгоритм проверки натурального числа n на свойство быть первообразным корнем заданного простого числа. В ходе работы установлено, что существуют неспецифические рекурсивные циклы, исследованы свойства структур рекурсивных циклов первообразных корней. Доказано, что все первообразные корни любого простого числа образуют пары, в которых рекурсивный цикл одного является инверсией рекурсивного цикла другого элемента пары. Приведены примеры первообразных корней и их внутренних циклов, а также инверсионные пары. Данное свойство примитивных корней не отмечалось ранее в литературе. В ходе работы также исследованы возможности представления рекурсивных циклов в двумерном пространстве. Результаты представлены в виде графиков инверсионных пар первообразных корней простых чисел. Показано, что рекурсивные циклы образуют динамические процессы. Доказано, что динамические процессы имеют хаотический характер, исследование которого является важной задачей теории динамических систем. В дальнейшем планируется детально исследовать структуру внутренних циклов для пар чисел. Анализ таких структур является шагом к решению сложных теоретико-математических задач и задач криптографии, где используются примитивные корни.

Ключевые слова: примитивный корень, циклическая группа, группа перестановок, простое число, рекурсивный цикл.

Аңдатпа

У.К. Турусбекова¹, М.М. Муратбеков², С.А. Алтынбек³, Ж.Е. Ахатова⁴

¹«Esil University» мекемесі, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

³Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

⁴Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

АЛҒАШҚЫ ТҮБІРЛЕРДІҢ РЕКУРСИВТІ ЦИКЛ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Қазіргі жай сандар теориясының көптеген мәселелерін шешу, бір жағынан, математиканың іргелі негіздерін қалай дамыту керектігі туралы идеяны терендетуге, екінші жағынан, күрделі деректерді талдау және өңдеу кезінде жылдам алгоритмдерді немесе дискретті ортогональды түрлендірулерді құрудың тиімді арифметикалық әдістерін жасауға мүмкіндік береді. Қазіргі математика мен криптография проблемаларының бірі-алғашқы (примитивті) түбірлерді табу есебі болып табылады. Ұсынылған мақалада кездейсоқ p жай санның барлық алғашқы түбірлері жиынтығын есептеу есебі қарастырылған. Сонымен қатар, қазіргі әлемде бұл мәселенің маңыздылығы, атап айтқанда криптографияда алғашқы түбірлер теориясын қолдану мәселелері сипатталған. Берілген жай санның алғашқы түбірі болу қасиетіне n натурал санды тексеру алгоритмі құрылды. Жұмыс барысында спецификалық емес рекурсивті циклдар бар екендігі анықталды, алғашқы түбірлердің рекурсивті циклдерінің құрылымдарының қасиеттері зерттелді. Кез-келген жай санның барлық алғашқы түбірлері жұптарды құрайтындығы дәлелденді, онда біреуінің рекурсивті циклі жұптың басқа элементінің рекурсивті циклінің инверсиясы болып табылады. Қарапайым түбірлер мен олардың ішкі циклдерінің мысалдары, сондай-ақ инверсиялық жұптар келтірілген. Алғашқы түбірлердің бұл қасиеті бұрын әдебиетте атап өтілмеген. Жұмыс барысында екі өлшемді кеңістіктегі рекурсивті циклдерді ұсыну мүмкіндіктері де зерттелді. Нәтижелер

карапайым сандардың алғашқы түбірлерінің инверсиялық жұптарының графигі түрінде ұсынылған. Рекурсивті циклдер динамикалық процестерді құрайтыны көрсетілген. Динамикалық процестер хаотикалық сипатқа ие екендігі дәлелденді, оны зерттеу динамикалық жүйелер теориясының маңызды есебі болып табылады. Болашақта жұп сандар үшін ішкі циклдердің құрылымын егжей-тегжейлі зерттеу жоспарлануда. Мұндай құрылымдарды талдау күрделі теориялық және математикалық есептер мен алғашқы түбірлер қолданылатын криптография есептерін шешуге қадам болып табылады.

Түйін сөздер: алғашқы түбір, циклдік топ, орын ауыстыру тобы, жай сан, рекурсивті цикл.

Abstract

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF RECURSIVE CYCLES STRUCTURES OF PRIMITIVE ROOTS

Turusbekova U.K.¹, Muratbekov M.M.², Altynbek S.A.³, Akhatova Zh.E.⁴

¹Institution "Esil University", Astana, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

⁴Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

Solving many problems of the modern theory of prime numbers allows, on the one hand, to deepen the understanding of how to develop the fundamental foundations of mathematics, and on the other - to create more effective arithmetic methods for constructing fast algorithms or discrete orthogonal transformations in the analysis and processing of complex data. One of the problems of modern mathematics in combination with cryptography is the problem of finding primitive roots. This article considers the problem of calculating the set of all primitive roots of an arbitrary prime number p . In addition, the importance of this task in the modern world is described, in particular, the use of the theory of primitive roots in cryptography. An algorithm for checking the natural number n for the property of being a primitive root of a given prime number is constructed. During the work it was found that there are non-specific recursive cycles, the properties of the structures of recursive cycles of primitive roots were investigated. It is proved that all primitive roots of any prime number form pairs in which the recursive cycle of one is an inversion of the recursive cycle of the other element of the pair. Examples of primitive roots and their inner cycles, as well as inversion pairs are given. This property of primitive roots has not been noted before in the literature. In the course of the work, the possibilities of representing recursive cycles in two-dimensional space are also investigated. The results are presented in the form of graphs of inversion pairs of primitive roots of prime numbers. It is shown that recursive cycles form dynamic processes. It is proved that dynamic processes have a chaotic character, the study of which is an important task of the theory of dynamical systems. In the future, it is planned to study in detail the structure of internal cycles for pairs of numbers. The analysis of such structures is a step towards solving complex theoretical and mathematical problems and cryptography problems where primitive roots are used.

Keywords: primitive root, cyclic group, permutation group, prime number, recursive cycle.

Введение

В современной как фундаментальной, так и прикладной математике теория простых чисел обладает исключительной привлекательностью. Решение многих проблем современной теории простых чисел позволяет, с одной стороны, углубить представление о том, как развивать фундаментальные основы математики, а с другой стороны, позволит создавать все более эффективные арифметические методы для построения быстрых алгоритмов дискретных ортогональных преобразований в анализ и обработка сложных данных [1]. К сложным данным относится современная эра науки о больших данных [2], обработки сигналов, криптографии [3] и других.

Опыт работы над проблемами фундаментальной и прикладной математики показывает, что существуют нерешенные математические задачи, решение которых важно, как для углубления и разработки новых методов решения сложных задач фундаментальной математики, так и для создания эффективных алгоритмов решения задач из прикладных областей, некоторые из которых перечислены выше.

До сих пор не доказана справедливость гипотезы Артина [4], согласно которой, если натуральное число не равно 0, ± 1 и является совершенным квадратом, то имеет место равенство

$$\pi(x, a) = c(a) \cdot \pi(x), \quad (1)$$

где $\pi(x, a)$ - число простых чисел, $\pi(x)$ - число простых чисел, для которых x является примитивным корнем, $c(a)$ – константа, зависящая только от значения a .

В работе [5] сформулирована обобщенная гипотеза Артина, а также определены способы ее решения с помощью экспериментальной математики [6, 7]. Безусловно, любые результаты, полученные на основе компьютерного моделирования, должны быть дополнительно подтверждены аналитическими методами [8,9].

Простое привлечение аналитических методов для решения этой гипотезы Артина и ее обобщения на данный момент невозможно. Существование константы $c(a)$ в (1) подтверждает простое рассуждение, а именно, что должна существовать процедура регулярного сдвига простых чисел для любого числа, для которого a является примитивным корнем. В работе [10] доказано, что таких простых чисел бесконечно много. До сих пор не было доказано, какими свойствами обладают все простые числа, для которых a является примитивным корнем, то есть a является порождающим элементом циклической группы $(\mathbb{Z}/\mathbb{Z}_p)^*$ для любого $p \in P$, где P - множество всех простых чисел [11].

Чтобы решить эту проблему, имеет смысл изначально решить другую, как нам кажется, более простую задачу. Для некоторого простого числа p найти все его первообразные корни и изучить их свойства.

Очевидно, что если a является корнем примитивного числа, то достаточно рассмотреть $a < p$. В общем случае число a может быть составным, но не ± 1 и идеальным квадратом. Известно, что для любого p число его примитивных корней равно $\varphi(p-1)$, где φ – функция Эйлера. С увеличением p число примитивных корней увеличивается. Пусть m_i - некоторый примитивный корень из простого числа p . Пусть, $m_p = \{m_{1p}, m_{2p}, \dots, m_{\varphi(p-1)p}\}$ - множество всех примитивных корней простого числа p . Потенциально, примитивными корнями простого числа p могут быть любые числа от 2 до $p-1$, за исключением тех, которые являются идеальными квадратами.

Проверка числа m на возможность того, что оно является примитивным корнем простого числа p , является вычислительно сложной с алгоритмической точки зрения, если принять во внимание, что количество проверок увеличивается с увеличением p . Кроме того, для любого простого числа вычисление функции Эйлера $\varphi(p-1)$, которая определяется следующим выражением, является непростой задачей:

$$\varphi(p-1) = \prod_{i=1}^k (p_i^{\alpha_i} - p_i^{\alpha_i-1}), \quad (2)$$

где $p-1 = \prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i}$ - его простая факторизация. Вычисление самой функции Эйлера является вычислительно простой задачей. Гораздо более сложной проблемой является разложение на множители числа $p-1$. Если $p-1$ небольшое число, например порядка 10^6 , то задача факторизации решается довольно просто. При значительно более высоких значениях возникают вычислительные трудности подэкспоненциального характера. Для решения задачи факторизации были использованы методы, описанные в [11].

Методы исследования

Согласно теореме Ферма, если число m является первообразным корнем из числа p , то выполняется условие

$$m^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}. \quad (3)$$

Это условие необходимо, но недостаточно. По этой причине необходимо выполнить проверку по более сложной процедуре, приведенной в монографии [11]. Пусть задано простое число p , а кандидатом на примитивные корни является m . Мы выполняем факторизацию $p-1$, представляя

$p-1 = \prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i}$, и для каждого простого множителя из $\{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ проверяем условие

$$m^{\frac{p-1}{p_i}} \equiv 1 \pmod{p}. \quad (4)$$

Для этого реализуется рекурсивная процедура

$$x_{n+1} = mx_n \pmod{p}, \tag{5}$$

от $x_0 = 1$ до $n + 1 = \frac{p-1}{p_i}$ и вышеупомянутое условие (4) должно быть выполнено на последнем шаге

рекурсии.

Предположим, что для некоторого числа выполняется условие (4), тогда мы вычисляем последовательность значений

$$x_p = 1, x_{n+1} = mx(\pmod{p}) \text{ до } x_{p-1} \equiv 1(\pmod{p}) \tag{6}$$

и мы получаем вектор $(x_{1,m_1}, x_{2,m_1}, \dots, x_{(p-1)m_1})$ длины $p - 2$. Такие векторы строятся для всех

$$m_i \in m_p = \{m_{1,p}, m_{2,p}, \dots, m_{(p-1)p}\}. \tag{7}$$

Очевидно, что для всех примитивных корней множества m все векторы имеют одинаковую длину, равную $p - 2$. Множество таких векторов является основой для анализа свойств множества примитивных корней простого числа p . Отметим, что цикл рекурсии для примитивного корня m_i на самом деле имеет вид:

$$(1, x_{2,m_i}, \dots, x_{(p-1)m_i}). \tag{8}$$

Последняя единица относится к следующему циклу, и поэтому длина цикла равна $p - 1$, что согласуется с малой теоремой Ферма [12]. Анализ циклов (орбит) рекурсий для множества всех примитивных корней позволил нам установить, что для любого $m_{i,p} \in \{m_{1,p}, m_{2,p}, \dots, m_{\varphi(p-1)p}\}$ всегда существует $m_{j,p}$ при $j \neq p$, что рекурсивный цикл $m_{i,p}$ без первой единицы является инверсией из цикла $m_{j,p}$. По сути, множество $\{m_{1,p}, m_{2,p}, \dots, m_{\varphi(p-1)p}\}$ разлагается на пары примитивных корней. Это - новое свойство множества примитивных корней, которое ранее не было известно. Число примитивных корней является наибольшим для простых чисел $p^* = Z_p + 1$ для $p^* \cdot p \in P$, которые обычно называют простыми числами Софи Жермен и наименьшим числом гладких простых чисел [11]. Для различных $p \in P$ число составных примитивных корней всегда значительно больше, чем число простых примитивных корней. Это объясняется достаточно просто, поскольку $\varphi(p - 1)$ показывает количество натуральных чисел, которые являются относительно простыми по отношению к $p - 1$.

Каждый примитивный корень является предком для группы $(Z / Z_p)^*$. Кроме того, каждый из них генерирует набор псевдослучайных чисел. Если мы усредним по множеству всех циклов, то получим псевдослучайную последовательность, в которой все тесты на случайность позволяют утверждать, что в этой последовательности нет внутренних циклов в какой-либо форме.

Результаты исследования

Рассмотрим примитивные корни и циклы для простого числа $p = 37$.

Таблица 1. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 2 и 19 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
2	2, 4, 8, 16, 32, 27, 17, 34, 31, 25, 13, 26, 15, 30, 23, 9, 18, 36, 35, 33, 29, 21, 5, 10, 20, 3, 6, 12, 24, 11, 22, 7, 14, 28, 19, 1
19	19, 28, 14, 7, 22, 11, 24, 12, 6, 3, 20, 10, 5, 21, 29, 33, 35, 36, 18, 9, 23, 30, 15, 26, 13, 25, 31, 34, 17, 27, 32, 16, 8, 4, 2, 1

Таблица 2. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 5 и 15 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
5	5, 25, 14, 33, 17, 11, 18, 16, 6, 30, 2, 10, 13, 28, 29, 34, 22, 36, 32, 12, 23, 4, 20, 26, 19, 21, 31, 7, 35, 27, 24, 9, 8, 3, 15, 1
15	15, 3, 8, 9, 24, 27, 35, 7, 31, 21, 19, 26, 20, 4, 23, 12, 32, 36, 22, 34, 29, 28, 13, 10, 2, 30, 6, 16, 18, 11, 17, 33, 14, 25, 5, 1

Таблица 3. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 13 и 20 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
13	13, 21, 14, 34, 35, 11, 32, 9, 6, 4, 15, 10, 19, 25, 29, 7, 17, 36, 24, 16, 23, 3, 2, 26, 5, 28, 31, 33, 22, 27, 18, 12, 8, 30, 20, 1
20	20, 30, 8, 12, 18, 27, 22, 33, 31, 28, 5, 26, 2, 3, 23, 16, 24, 36, 17, 7, 29, 25, 19, 10, 15, 4, 6, 9, 32, 11, 35, 34, 14, 21, 13, 1

Таблица 4. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 17 и 24 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
17	17, 30, 29, 12, 19, 27, 15, 33, 6, 28, 32, 26, 35, 3, 14, 16, 13, 36, 20, 7, 8, 25, 18, 10, 22, 4, 31, 9, 5, 11, 2, 34, 23, 21, 24, 1
24	24, 21, 23, 34, 2, 11, 5, 9, 31, 4, 22, 10, 18, 25, 8, 7, 20, 36, 13, 16, 14, 3, 35, 26, 32, 28, 6, 33, 15, 27, 19, 12, 29, 30, 17, 1

Таблица 5. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 18 и 35 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
18	18, 28, 23, 7, 15, 11, 13, 12, 31, 3, 17, 10, 32, 21, 8, 33, 2, 36, 19, 9, 14, 30, 22, 26, 24, 25, 6, 34, 20, 27, 5, 16, 29, 4, 35, 1
35	35, 4, 29, 16, 5, 27, 20, 34, 6, 25, 24, 26, 22, 30, 14, 9, 19, 36, 2, 33, 8, 21, 32, 10, 17, 3, 31, 12, 13, 11, 15, 7, 23, 28, 18, 1

Таблица 6. Обратный рекурсивный цикл примитивных корней 22 и 32 простого числа 37

Примитивный корень	Цикл
22	18, 28, 23, 7, 15, 11, 13, 12, 31, 3, 17, 10, 32, 21, 8, 33, 2, 36, 19, 9, 14, 30, 22, 26, 24, 25, 6, 34, 20, 27, 5, 16, 29, 4, 35, 1
32	35, 4, 29, 16, 5, 27, 20, 34, 6, 25, 24, 26, 22, 30, 14, 9, 19, 36, 2, 33, 8, 21, 32, 10, 17, 3, 31, 12, 13, 11, 15, 7, 23, 28, 18, 1

Значение функции Эйлера для этого числа будет равно $\varphi(p-1) = 12$, что равно числу примитивных корней для данного простого числа. Как следует из приведенных выше данных (таблицы 1-6), все примитивные корни имеют рекурсивно - обратную пару. На рисунках 1-3 представлены графики инверсионных пар примитивных корней простого числа 37 в двумерной системе.

Фактически, на основе данных о примитивных корнях простого числа складывается следующая модель для изучения множества простых чисел, для которых данное число a является примитивным корнем. Предположим, что выбрано a и установлено, что для некоторого p число a является примитивным корнем. Мы находим множество примитивных корней числа $m_p = \{m_{1,p}, m_{2,p}, \dots, m_{\varphi(p-1)p}\}$ и пусть a принадлежит этому множеству.

Кроме того, пусть некоторое $p^* > a$ также принадлежит m_p .

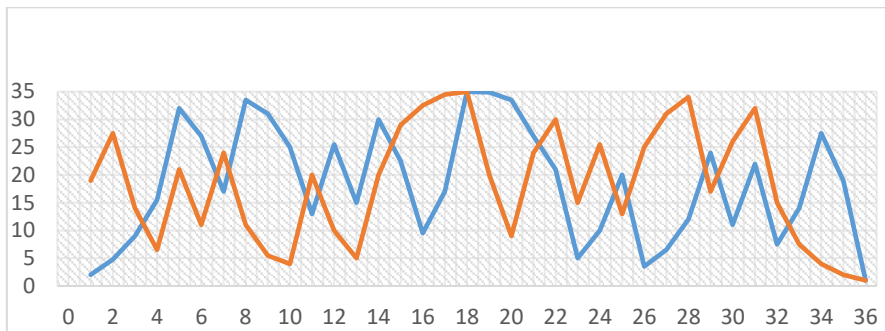


Рисунок 1. Прimitивные корни 2 и 19 простого числа 37 в двумерной системе

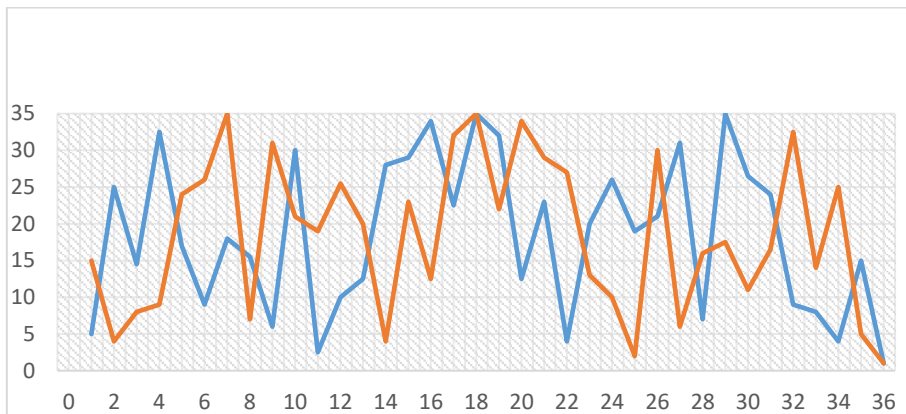


Рисунок 2. Прimitивные корни 5 и 15 простого числа 37 в двумерной системе

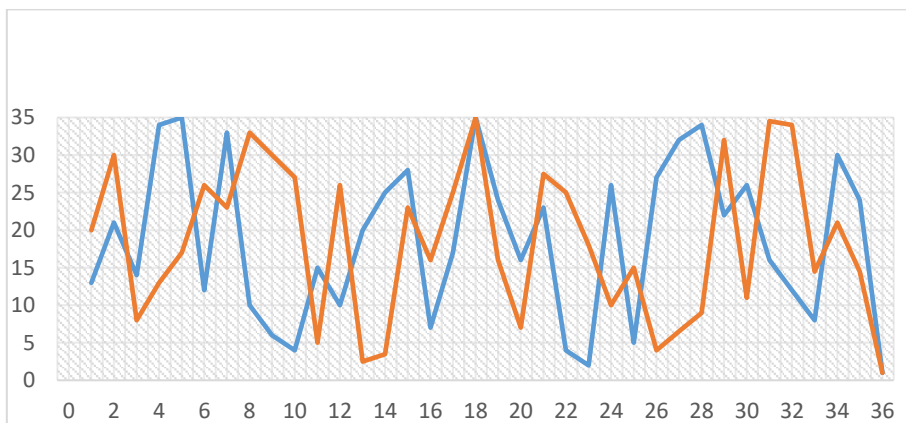


Рисунок 3. Прimitивные корни 13 и 20 простого числа 37 в двумерной системе

Из анализа экспериментальной математики следует, что a также является первообразным корнем для p^* . Таким образом, имеет место схема:

$$a \rightarrow p^* \rightarrow p \Rightarrow a \rightarrow p \quad (9)$$

Если этот переходный "закон" окажется правильным, то появится дополнительная информация о законах формирования множества простых чисел, для которых a является примитивным корнем. Итак, в гипотезе Артина, основанной на данных экспериментальной математики, установлены два факта:

1) для любого $p \in P$ множество

$$m_p = \{m_{1,p}, m_{2,p}, \dots, m_{\varphi(p-1)p}\} \quad (10)$$

разделим на пары, в которых рекурсия на основе одного элемента является обратной рекурсии другого элемента пары. Пары могут быть образованы двумя простыми числами, двумя составными числами и одним простым и одним составным. Необходимо доказать этот факт аналитически. Для существования инверсии необходимо и достаточно, чтобы в любой паре $(m_{1,p}, m_{2,p})$ первый элемент рекурсии m_1 был равен последнему в m_2 и наоборот. Это подразумевает равенство двух рекурсий. Условия, при которых это происходит, вероятно, легко установить. Труднее доказать, что рекурсии совпадают при инверсии.

2) Предположим, что a – примитивный корень для всех $p \in P_a = \{p_1, \dots, p_a\}$.

Доказать: пусть $a \rightarrow p_i$ и $p_i \rightarrow p_j = a \rightarrow p_i$ при $a < p_i < p_j$, то есть существует транзитивность.

Вполне возможно, что это переносится на теорию конечных полей, эллиптических кривых и модулярных форм.

Важный вопрос: как найти модуль m такой, чтобы остатки этого модуля на P_a отличались от остатков этого модуля на множестве $a - P_a$. Вопрос о существовании такого модуля остается открытым. Возможно, что существует система модулей $\{m_1, \dots, m_x\}$, остатки над которыми обладают свойствами, определяемыми некоторой функцией типа $f(Z_{m1}, \dots, Z_{mx})$. Это может быть связано с теоремой Дирихле об арифметической прогрессии. Вопрос о том, можно ли его обобщить на систему арифметических прогрессий, остается открытым.

Заключение

Анализируя первичные корни, обнаружено, что существуют пары примитивных корней, в которых рекурсия на основе одного элемента является инверсией рекурсии другого элемента пары. Если мы объясним этот момент аналитическим способом, мы получим дополнительную информацию о законах формирования множества простых чисел, для которых a является примитивным корнем. Процессы взаимодействия рекурсивных циклов между различными парами примитивных корней простого числа p . Доказано, что динамические процессы имеют хаотическую природу, исследование которой является важной задачей теорий динамических систем.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования по научно-техническим проектам Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP19677733.

Список использованных источников:

- 1 Чернов, В.М. Арифметические методы синтеза быстрых алгоритмов дискретных ортогональных преобразований / В.М. Чернов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 264 с.
- 2 Mallat, S. *Course on High Dimensional Data Analysis* / S. Mallat. - École Normale Supérieure, 2013. - 117 p.
- 3 Chakraborty, R. S., Scgwabe, P., Solwaeth, J. (ed.) *Security, Privacy and Applied Cryptography Engineering* / R.S. Chakraborty, P. Scgwabe, J. Solwaeth // 5th International Conference, SPACE 2015, Jaipur, India, October 3-7, 2015. *Proceedings*. - Springer, 2015. - V. 9354. - P. 37-42.
- 4 Ambrose D. *On Artin's Primitive Root Conjecture. Dissertation zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doctorgrades // Doctor rerum naturalium. - der Georg-August-Universität Göttingen, 2014. - 169 p.*
- 5 Vostrov, G. N., Opjata, R. J. *Computer modeling of dynamic processes in analytic number theory* / G. N. Vostrov, R. J. Opjata // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. - 2018. - №28 (104) - P. 240-247. <https://doi.org/10.15276/eltecs.28.104.2018.29>.
- 6 Caragiu, M. *Sequential Experiments with Primes* / M. Caragiu. - Springer International Publishing, 2017. - 290 p.
- 7 Lord N. *Experimental mathematics in action*, by DH Bailey, JM Borwein, NJ Calkin, R. Girgensohn, DR Luke & VH Moll. Pp. 322. \$49.00. 2007. ISBN 978 1 56881 271 7 (AK Peters) // *The Mathematical Gazette*. - 2009. - V. 93. - №. 528. - P. 564-566. <https://doi.org/10.1017/S0025557200185511>.
- 8 Murty, M. R. *Problems in Analytic Number Theory*. - 2nd edition / M. Ram Murty. - New York: Springer Science + Business Media LLC, 2008. - 506 p.
- 9 Abdymanapov S., Turusbekova U., Turginbayeva A., Altynbek S. *Research of Irreducible Norm Polynomials Special Type over a Field of Characteristic 2* // *IAENG International Journal of Applied Mathematics*. - 2020. - V.50. - №4. - P.777-782. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098231325&partnerID=40&md5=5949531a97827669e0d339b00af4b250>
- 10 Moree, P. *A note on Artin's conjecture* / P. Moree // *Simon Stevin*, 1993. - V.67. - №3. - P. 255-258.

11 Brudern, J., Godinho, H. *On Artin's conjecture, II: Paris of additive Forms* /J. Brudern, H. Godinho //Proceedings of the London Mathematical Society. - 2002. - V. 84. – №. 3. – P. 513–538. <https://doi.org/10.1112/S0024611502013588>.

12 Манин, Ю.И. Введение в современную теорию чисел: уч. пособие /Ю.И. Манин, А.А. Панчишкин. – М.: МЦНМО, 2009. -552 с.

References:

1 Chernov, V. (2007). *Arifmeticheskiye metody sinteza bystrykh algoritmov diskretnykh ortogonal'nykh preobrazovaniy*. Fizmatlit. (p. 264).

2 Mallat, S., (2013), *Course on High Dimensional Data Analysis*, École Normale Supérieure. (p. 117).

3 Chakraborty, R. S., Scgwave, P., & Solwaeth, J. (Eds.). (2015). *Security, Privacy, and Applied Cryptography Engineering: 5th International Conference, SPACE 2015, Jaipur, India, October 3-7, 2015. Proceedings* (Vol. 9354). Springer.

4 Ambrose, D. (2014). *On Artin's Primitive Root Conjecture*. Dissertation zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doctorgrades. In Doctor rerum naturalium (p. 169). der Georg-August-Universität Göttingen.

5 Vostrov, G., & Opiata, R. (2018). *Computer modeling of dynamic processes in analytic number theory*. *Electrotechnic and Computer Systems*, (28), 240-247. <https://doi.org/10.15276/eltecs.28.104.2018.29>.

6 Caragiu, M., (2017). *Sequential Experiments with Primes*. Springer International Publishing (p. 290)

7 Lord, N. (2009). *Experimental mathematics in action*, by DH Bailey, JM Borwein, NJ Calkin, R. Girgensohn, DR Luke & VH Moll. Pp. 322. \$49.00. 2007. ISBN 978 1 56881 271 7 (AK Peters). *The Mathematical Gazette*, 93(528), 564-566. <https://doi.org/10.1017/S0025557200185511>.

8 Murty, M. R. (2008). *Problems in analytic number theory* (Vol. 206). Springer Science & Business Media.

9 Abdymanapov, S., Turusbekova, U., Turginbayeva, A., & Altynbek, S. (2020) *Research of Irreducible Norm Polynomials Special Type over a Field of Characteristic 2*, *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 50(4), 777-782. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098231325&partnerID=40&md5=5949531a97827669e0d339b00af4b250>

10 Moree, P. (1993). *A note on Artin's conjecture*. *Simon Stevin*, 67(3), 255-258.

11 Brüdern, J., & Godinho, H. (2002). *On Artin's conjecture, II: pairs of additive forms*. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 84(3), 513-538. <https://doi.org/10.1112/S0024611502013588>.

12 Manin, Yu., & Panchishkin, A. (2009). *Vvedeniye v sovremennuyu teoriyu chisel*. [Introduction to modern number theory]. Izd-vo MTSNMO (552 s.). Moskva

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

МРНТИ 29.05.41
УДК 530.12

10.51889/2959-5894.2023.83.3.008

С.С. Беков^{1,2*}, А.Б. Алтайбаева¹, К.Р. Мырзакулов¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
²М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан
*e-mail: ss.bekov@gmail.com

ФЕРМИОНДЫҚ ӨРІСІ БАР $f(Q, B)$ ГРАВИТАЦИЯСЫНЫҢ ӘСЕРІ ЖӘНЕ ҚОЗҒАЛЫС
ТЕҢДЕУЛЕРІ

Аңдатпа

Бұл жұмыста фермиондық өріс пен толтырылған жазық және біртекті Фридман Әлемінің гравитациясының модификацияланған теориясын қарастырамыз. Жазық және біртекті Фридман Әлемі негізгі космологиялық модельдердің бір болып табылады және ол бақылау деректерімен жақсы үйлесімді. Себебі, үлкен масштабтарда Әлемді жазық, біртекті және изотропты деп есептеуге болады. Жұмыстың мақсаты гравитацияның модификацияланған $f(Q, B)$ теориясы шеңберінде Әлемнің үдемелі ұлғаю эволюциясының екінші кезеңінің (фазасының) динамикасын теориялық тұрғыда зерттеу. Q метрикалық емес скаляр, ол параллель тасымалдау процесінде вектор ұзындығының өзгеруін математикалық түрде сипаттайды және гравитациялық әсердің қасиеттерін сипаттайтын негізгі геометриялық айнымалы болып табылады. Ал B скаляры, Риччи скаляры R мен ширату скаляры T арасындағы шекаралық мүше. Қарастырылған $f(Q, B)$ гравитациялық моделінде қозғалыс теңдеулерін анықтау үшін вариациялық әдіс қолданылды.

Түйін сөздер: космология, гравитация, Эйнштейн-Гильберт әсері, қозғалыс теңдеуі, метрика, вариация, фермиондық өріс.

Аннотация

С.С. Беков^{1,2}, А.Б. Алтайбаева¹, К.Р. Мырзакулов¹

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

² Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан

ДЕЙСТВИЕ И УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В $f(Q, B)$ ГРАВИТАЦИИ С ФЕРМИОННЫМИ ПОЛЯМИ

В данной работе рассмотрена модифицированная теория гравитации и неминимально связанное фермионное поле на фоне плоского и однородного Вселенной Фридмана. Плоская и однородная Вселенная Фридмана - это одна из основных космологических моделей, и она хорошо согласуется с данными наблюдений. Это потому, что в больших масштабах Вселенную можно считать плоской, однородной и изотропной. Целью работы является теоретическое изучение динамики второго этапа (фазы) эволюции ускоренного расширения Вселенной в рамках модифицированной теории $f(Q, B)$ гравитации. Q неметрический скаляр, который математически описывает изменение длины вектора в процессе параллельного переноса и является основной геометрической переменной, описывающей свойства гравитационного воздействия. Скаляр B является пограничным членом между скаляром Риччи R и скаляром кручение T . Вариационным методом были определены уравнения движения в рассмотренной $f(Q, B)$ гравитационной модели.

Ключевые слова: космология, гравитация, действие Эйнштейна-Гильберта, уравнение движения, метрика, вариация, фермионное поле.

Abstract

ACTION AND EQUATIONS OF MOTION IN $f(Q, B)$ GRAVITY WITH FERMIONIC FIELDS

Bekov S.S.^{1,2}, Altabayeva A.B.¹, Myrzakulov K.R.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²M. Kozubayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

In this paper, a modified theory of gravity of a filled fermionic field of a flat and homogeneous Friedman universe is considered. The flat and homogeneous Friedman universe is one of the main cosmological models, and it agrees well with the observational data. This is because on a large scale, the universe can be considered flat, homogeneous and isotropic. The purpose of the work is to theoretically study the dynamics of the second stage (phase) of the evolution of the accelerated expansion of the Universe within the framework of the modified theory $f(Q, B)$ of gravity. Q non-metric scalar, which mathematically describes the change in the length of the vector in the process of parallel transfer and is the main geometric variable that describes the properties of gravitational influence. The scalar B is a boundary term between the Ricci scalar R and the torsion scalar T . The equations of motion in the considered gravitational model were determined by the variational method.

Keywords: cosmology, gravity, Einstein-Hilbert action, equation of motion, metric, variation, fermionic field.

Кіріспе

Қазіргі космологияда Элемнің екінші фазалық үдемелі ұлғаю құбылысын түсіндіру үшін гравитацияның стандартты теориясы, яғни жалпы салыстырмалылық теориясының әртүрлі модификациялары қолданылады. Әдетте, теорияның мұндай модификацияларын екі түрге бөлуге болады:

– біріншісі скалярлық өрістер, квинтессенция, фантомдық өрістер, тахиондық өрістер, Хиггс бозоны немесе фермиондық өрістер сияқты Лагранж функциясына әсерге зат өрістерінің жаңа құрамдастары қосылатын модельдер [1,2].

– екіншісі бұл моделдерде Лагранж функциясы төрт өлшемді кеңістік-уақыттың геометриясына жауапты компоненттерді жалпылайтын модельдер, мысалы, $f(R)$ гравитация теориясы (мұндағы R - Риччи скаляры), телепараллель гравитация, $f(T)$ гравитация (мұндағы T - ширату скаляры), $f(Q)$ гравитация (мұндағы Q - метрикалық емес скаляр), және олардың әртүрлі модификацияланған немесе біріктірілген теориялары [3-7]. Мысалы, телепараллель гравитация жалпы салыстырмалылық теориясының альтернативті теориясы болып табылады және оны А.Эйнштейннің өзі гравитациялық және электромагниттік өрістерді біріктіру үшін ұсынған. Лагранж функциясындағы қисықтық скалярын байланыс функциясымен ауыстыру арқылы $F(R)$ гравитация теориясы үшін Эйнштейн-Гильберт әсерін толықтыруды 1970 жылы Х.А. Бухдал ұсынды [8]. Бұл гравитацияның модификацияланған теориясы инфляцияны, күңгірт энергия, космологиялық тұрақтыны сфералық симметриялы шешімдерді сипаттау үшін қолданылған.

$f(Q)$ гравитациясы

Дифференциалды геометрияда симметриялық $g_{\mu\nu}$ метрикалық тензор вектордың ұзындығын анықтау негізінде қолданылады, ал $\Sigma^{\gamma}_{\mu\nu}$ асимметриялық байланыс ковариантты туындылар мен параллель тасымалдауды анықтау үшін қолданылады. Сондықтан жалпы аффиндік байланысты үш компонентке бөлуге болады: $\Gamma^{\gamma}_{\mu\nu}$ Кристоффель символы, $C^{\gamma}_{\mu\nu}$ қисаю тензоры және $L^{\gamma}_{\mu\nu}$ деформациялық тензор

$$\Sigma^{\gamma}_{\mu\nu} = \Gamma^{\gamma}_{\mu\nu} + C^{\gamma}_{\mu\nu} + L^{\gamma}_{\mu\nu}, \tag{1}$$

мұндағы $g_{\mu\nu}$ метрикалық тензормен $\Gamma^{\gamma}_{\mu\nu}$ Леви-Чивита байланысы келесідей түрде жазылады

$$\Gamma^{\gamma}_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{2} g^{\gamma\sigma} \left(\frac{\partial g_{\sigma\mu}}{\partial x^{\nu}} + \frac{\partial g_{\sigma\nu}}{\partial x^{\mu}} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\sigma}} \right), \tag{2}$$

Контрсион тензорын $C^{\gamma}_{\mu\nu}$ төмендегідей жазамыз

$$C^{\gamma}_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{2} T^{\gamma}_{\mu\nu} + T_{(\mu}{}^{\gamma}{}_{\nu)}, \quad (3)$$

мұндағы $T^{\gamma}_{\mu\nu} \equiv 2\Sigma^{\gamma}_{[\mu\nu]}$ – ширату тензоры. Бұдан, $L^{\gamma}_{\mu\nu}$ деформация тензорын $Q_{\mu\nu}$ метрикалық емес тензордан анықтаймыз

$$L^{\gamma}_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{2} g^{\gamma\sigma} (Q_{\nu\mu\sigma} + Q_{\mu\nu\sigma} - Q_{\mu\nu\sigma}) \quad (4)$$

Жоғарыда келтірілген (4) теңдеудегі $Q_{\mu\nu}$ метрикалық емес тензор, Вейл-Картан $\Sigma^{\gamma}_{\mu\nu}$ байланысына қатысты метрикалық тензордың спецификалық ковариантты туындысы (минус) болып табылады $Q_{\mu\nu} = \nabla_{\gamma} g_{\mu\nu}$

$$Q_{\mu\nu} = -\partial_{\gamma} g_{\mu\nu} + g_{\nu\sigma} \Sigma^{\sigma}_{\mu\gamma} + g_{\sigma\mu} \Sigma^{\sigma}_{\nu\gamma}. \quad (5)$$

Байланыс ширатусыз және қисықтықсыз деп есептеледі [6]. Ол тривиальды қосылымнан таза координат түрлендіруіне сәйкес келеді. Осылайша, жазық және ширатусыз байланыс үшін (1) теңдеуді параметрлеуге болады.

$$\Sigma^{\gamma}_{\mu\beta} = \frac{\partial x^{\gamma}}{\partial \xi^{\rho}} \partial_{\mu} \partial_{\beta} \xi^{\rho} \quad (6)$$

мұндағы $\xi^{\gamma} = \xi^{\gamma}(x^{\mu})$ конверсияланатын байланыс болып табылады. Байланыс $\Sigma^{\gamma}_{\mu\nu}$ жойылатын координаттар жүйесін таңдап алуға болады. Бұл ∇_{γ} калибрлеу шарты болып табылады және көптеген Жалпы салыстырмалылықтың симметриялы телепараллель эквивалентін зерттеуде қолданылған және бұл жағдайда ковариантты туынды ∂_{γ} дербес туындыға дейін азаяды. Осылайша, сәйкес калибрлеу координатын анықтаймыз

$$Q_{\mu\nu} = -\partial_{\gamma} g_{\mu\nu}. \quad (7)$$

Симметриялық телепараллель гравитацияның геометриялық сипаттамасы сәйкес калибрлеу координаттары шегінде жалпы салыстырмалылық теориясына эквивалентті, онда $\Sigma^{\gamma}_{\mu\nu} = 0$ және $C^{\gamma}_{\mu\nu} = 0$, (3) теңдеуден төмендегі қорытындыға келеміз

$$\Gamma^{\gamma}_{\mu\nu} = -L^{\gamma}_{\mu\nu}. \quad (8)$$

Осылайша, метрикалық емес скаляр төмендегідей анықталады :

$$Q = -Q_{\beta\mu\nu} p^{\beta\mu\nu} \quad (9)$$

$f(Q, B)$ гравитациядағы әсер және қозғалыс теңдеулері

Бұл бөлімде гравитациялық өріспен минималды емес байланысқан фермиондық өрістің $f(Q, B)$ гравитация моделін біртекті, жазық және изотропты Фридман Әлемінде қарастырамыз. Риччи скаляры R мен ширату скаляры T шекаралық мүше арқылы байланысады

$$R = -T + \frac{2}{e} \partial_{\mu} (e T^{\mu}) = -T - B, \quad (10)$$

мұндай байланысты $B = (2/e) \partial_{\mu} (e T^{\mu}) = \nabla_{\mu} T^{\mu}$ деп енгізілген. Метрикалы емес скаляр Q және B шекаралық мүшесіне қатысты минималды байланыста емес фермиондық өріске арналған әсерді келесі түрде жазамыз

$$S = \int d^4 x e \{ F(u) f(Q, B) + \frac{i}{2} [\bar{\psi} \Gamma^{\mu} (\bar{\partial}_{\mu} - \Omega_{\mu}) \psi - \bar{\psi} (\bar{\partial}_{\mu} + \Omega_{\mu}) \Gamma_{\mu} \psi] - V(u) \}, \quad (11)$$

мұнда $e = \det(e_\mu^a) = \sqrt{-g}$, ал e_μ^a тетрада базисі, ψ және $\bar{\psi} = \psi^\dagger \gamma^0$ спинорлық өріс және онымен біріктірілген комплексті түйіндесі. Гравитациямен байланысын және сәйкесінше фермиондық өрістің өзіндік әсер ету потенциалын білдіретін $V(u)$ және $F(u)$ жалпыланған функциялар. F және V функциялары тек қана сызықты емес $u = \bar{\psi}\psi$ функциясына қатысты, $\Gamma^\mu = e_\mu^a \gamma^a$ Дирак-Паулидың жалпыланған матрицалары. Олар Клиффорд алгебрасын қанағаттандырады, $\{\gamma^\mu, \gamma^\nu\} = 2g^{\mu\nu}$ мұндағы фигуралық жақша антикоммутациялық қатынасты білдіреді. Коварианты туынды e_μ^a келесі түрде беріледі

$$D_\mu \psi = \partial_\mu \psi - \Omega_\mu \psi,$$

$$D_\mu \bar{\psi} = \partial_\mu \bar{\psi} + \bar{\psi} \Omega_\mu$$

фермионды байланыс Ω_μ келесі формуламен анықталынады $\Omega_\mu = -\frac{1}{4} g_{\rho\sigma} [\Gamma_{\mu\sigma}^\rho - e_b^\rho \partial_\mu e_b^\sigma] \Gamma^\sigma \Gamma^\delta$, мұндағы $\Gamma_{\mu\sigma}^\rho$ Кристоффель символын білдіреді.

Сонымен бірге Фридман-Робертсон-Уокер метрикасын қарастырамыз

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)(dx^2 + dy^2 + dz^2) \quad (12)$$

Бұл метрика үшін тетрада тензорының компоненттері келесі түрде жазылады

$$(e_\mu^a) = \text{diag}(1, a, a, a), \quad (e^\mu_a) = \text{diag}(1, 1/a, 1/a, 1/a).$$

Қысық кеңістік-уақыт Γ^μ үшін Дирак матрицалары ($j = 1, 2, 3$)

$$\Gamma^0 = \gamma^0, \quad \Gamma^j = a^{-1} \gamma^j, \quad \Gamma^5 = -i\sqrt{g} \Gamma^0 \Gamma^1 \Gamma^2 \Gamma^3 = \gamma^5, \quad \Gamma_0 = \gamma^0, \quad \Gamma_j = a \gamma^j$$

демек,

$$\Omega_0 = 0, \quad \Omega_j = \frac{1}{2} \dot{a} \gamma^j \gamma^0.$$

Дирак матрицалары негізінде жазылатын гамма матрицалар:

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix}, \quad \gamma^k = \begin{pmatrix} 0 & \sigma^k \\ -\sigma^k & 0 \end{pmatrix}, \quad \gamma^5 = \begin{pmatrix} 0 & I \\ I & 0 \end{pmatrix},$$

мұнда $I = \text{diag}(1, 1)$ және σ^k Паули матрицалары, келесі түрде жазамыз:

$$\sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Сәйкес лагранжиан көбейткіштерін таңдау және жоғары ретті туындыларды болдырмау үшін бөліктер бойынша интегралдау әдісін қолданып L лагранжианды канондық түрде алу үшін әсерді келесі түрде жазамыз

$$S = \int d^4 x e \left\{ Ff - \lambda_1 \left(Q + 6 \frac{\dot{a}^2}{a^2} \right) - \lambda_2 \left(B + 6 \left(\frac{\ddot{a}}{a} + 2 \frac{\dot{a}^2}{a^2} \right) \right) + \frac{i}{2} (\bar{\psi} \gamma^0 \dot{\psi} - \dot{\bar{\psi}} \gamma^0 \psi) - V. \right\} \quad (14)$$

Жоғарыдағы (11) теңдеудегі Фридман-Робертсон-Уокер метрикасы үшін ширату скалярларының және шекаралық мүшенің мәндері

$$Q = 6 \frac{\dot{a}^2}{a^2}, \quad B = -6 \left(\frac{\ddot{a}}{a} + 2 \frac{\dot{a}^2}{a^2} \right)$$

Лагранждың екі факторға қатысты екенін ескеріп. Әсерді Q және B бойынша вариацияласақ

$$\lambda_1 = F(u) \frac{\partial f(Q, B)}{\partial Q} = F f_Q, \quad \lambda_2 = F(u) \frac{\partial f(Q, B)}{\partial B} = F f_B, \quad (15)$$

сонда жоғарыда көрсетілген әсерді төмендегідей жазамыз

$$S = \int d^4x \left\{ Fa^3 f - Fa^3 Q f_Q - 6Fa\dot{a}^2 f_Q - Fa^3 B f_B + 6\dot{F}a^2 \dot{a} f_B + 6Fa^2 \dot{Q} f_{BQ} + 6Fa^2 \dot{B} f_{BB} + a^3 \left[\frac{i}{2} (\bar{\psi} \gamma^0 \dot{\psi} - \dot{\bar{\psi}} \gamma^0 \psi) - V \right] \right\} \quad (16)$$

Қарастырылып отырған модель үшін нүктелік лагранжианды (12) және (16) теңдеулерінің көмегімен келесі түрде анықтаймыз

$$L = Fa^3 f - Fa^3 Q f_Q - 6Fa\dot{a}^2 f_Q - Fa^3 B f_B + 6\dot{F}a^2 \dot{a} f_B + 6Fa^2 \dot{Q} f_{BQ} + 6Fa^2 \dot{B} f_{BB} + \frac{i}{2} a^3 (\bar{\psi} \gamma^0 \dot{\psi} - \dot{\bar{\psi}} \gamma^0 \psi) + a^3 V. \quad (17)$$

мұнда метриканың біртектілігі мен изотроптылығына байланысты спинор өрісі тек уақытқа тәуелді деп есептеледі, яғни $\psi = \psi(t)$.

Енді қарастырып отырған модель үшін қозғалыс теңдеулерін анықтаймыз. Ол үшін Эйлер-Лагранж теңдеулерімен нөлдік энергия шартын падаланамыз:

$$\frac{\partial L}{\partial q} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \dot{q} - L = 0 \quad (18)$$

Эйлер-Лагранж теңдеулерімен энергетикалық күй теңдеуі пайдаланып келесідей қозғалыс теңдеулер жүйесін аламыз

$$6 \frac{\dot{a}}{a} (\dot{Q} f_{BQ} + \dot{B} f_{BB}) + \left(Q - 6 \frac{\dot{a}^2}{a^2} \right) f_Q + \left(B + 6 \frac{\dot{F}}{F} \frac{\dot{a}}{a} \right) f_B - f + \frac{V}{F} = 0. \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \dot{Q} \dot{B} f_{BQB} + \dot{Q} \dot{B} f_{BBQ} + \dot{Q}^2 f_{BQQ} + \dot{B}^2 f_{BBB} - 2 \frac{\dot{a}}{a} (\dot{Q} f_{QQ} + \dot{B} f_{QB}) + \left(2 \frac{\dot{F}}{F} \dot{Q} + \ddot{Q} \right) f_{BQ} + \left(2 \frac{\dot{F}}{F} \dot{B} + \ddot{B} \right) f_{BB} - \\ & - \left(\frac{\dot{a}^2}{a^2} + 2 \frac{\ddot{a}}{a} + 2 \frac{\dot{a}}{a} \frac{\dot{F}}{F} - \frac{1}{2} Q \right) f_Q + \left(\frac{\ddot{F}}{F} + \frac{1}{2} B \right) f_B - \frac{1}{2} f - \frac{1}{2F} \left[\frac{i}{2} (\bar{\psi} \gamma^0 \dot{\psi} - \dot{\bar{\psi}} \gamma^0 \psi) - V \right] = 0, \end{aligned} \quad (20)$$

$$\dot{\psi} + \frac{3}{2} \frac{\dot{a}}{a} \psi + iV' \gamma^0 \psi - iF' \gamma^0 \psi = 0, \quad (21)$$

$$\dot{\bar{\psi}} + \frac{3}{2} \frac{\dot{a}}{a} \bar{\psi} - iV' \bar{\psi} \gamma^0 - iF' \bar{\psi} \gamma^0 = 0, \quad (22)$$

Бұл теңдеулер жүйесі сызықты емес екінші ретті дифференциалдық теңдеулер болып табылады.

(21)-(22) өріс теңдеулерін қолдана отырып төмендегі шешімді табамыз.

$$\dot{u} + 3\frac{\dot{a}}{a}u = 0, \quad (23)$$

осы теңдеуді интегралдайтын болсақ келесі шешімді аламыз

$$u = \frac{u_0}{a^3} \quad (24)$$

мұндағы u_0 интегралдау тұрақтысы. Егер шешімдеді келесі түрде іздесек

$$F = h_0 u^n, \quad V = \lambda u^{n-1}, \quad (25)$$

$$f(Q, B) = b_0 Q + mB. \quad (26)$$

Жоғарыда (24)-(25) және (26) теңдеулерді (19) қозғалыс теңдеуіне қолданып төмендегі теңдеуді аламыз

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{3}{2}(C_1 - t) \quad (27)$$

Мұндағы, C_1 тұрақты шама. Сонымен қатар, энергия тығыздығы мен қысымды келесі формада табамыз

$$\rho = 3H^2 = 27(t - C_1)^2, \quad (28)$$

$$p = -3H^2 - 2\dot{H} = \frac{27}{4}(t - C_1)^2 - 3. \quad (29)$$

Әлемнің ұлғаюы күй параметрі теңдеуі арқылы сипатталады, ол қысым мен тығыздықты байланыстыратын функция болып табылады

$$p = \omega \rho \quad (30)$$

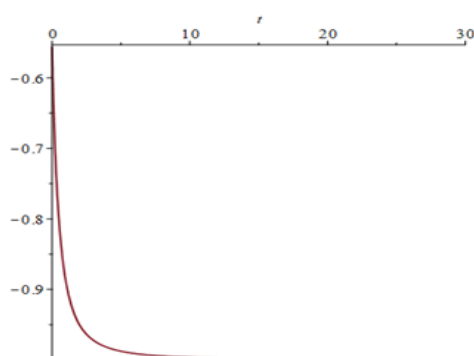
мұндағы ω – күй теңдеуі параметрі. Егер $\omega > -1/3$ -тен үлкен болса, онда Әлем баяу қарқынмен ұлғаяды. Күй параметрі теңдеуіне байланысты Әлемнің ұлғаюының келесі түрлері бар

- квинтессенция фазасы – $-1/3 > \omega > -1$
- де Ситтер Әлемі – $\omega = -1/3$
- фантомдық фаза – $\omega < -1$

Қарастырылған модель үшін күй параметрі теңдеуін және баяулау параметрін келесідей анықтауға болады

$$\omega = \frac{p}{\rho} = \frac{1}{9(t - C_1)^2} - \frac{1}{4}. \quad (31)$$

$$q = -\frac{\ddot{a}a}{\dot{a}^2} = -\frac{5}{2}C_1. \quad (32)$$



Сурет 1. Күй теңдеуі параметрінің ω уақытқы t байланысты графигі

Егер, $C_1 \equiv -1$ деп алсақ, күй теңдеуі параметрі минус бірге ұмтылады (сурет 1). Бұл шешім Әлемнің үдемелі ұлғаюының күңгірт энергия моделін қанағаттандырады [9,10].

Қорытынды

Фридман-Робертсон-Уокер кеңістік-уақыт метрикасы үшін $f(Q, B)$ гравитациялық моделін зерттедік. Бұл модель үшін нүктелік лагранжиан және сәйкес өріс теңдеулері анықталды. Белгісіз F, V функцияларының шешімдері алынды. Осы анықталған шамаларды қолданып, қарастырылған модель үшін күй параметрі теңдеуі және баяулау параметрі табылды. Бұл шешімдер, Әлемнің үдемелі ұлғаюының екінші кезеңін сипаттайтыны көрсетілді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Caldwell R. A Phantom menace? // *Phys. Letters B.* – 2002. – Vol. 545. – P. 23-29. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)02589-3](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)02589-3)
- 2 Gibbons G. Cosmological evolution of the rolling tachyon // *Physics Letters B.* – 2002. – Vol. 537. – P. 1-4. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)01881-6](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)01881-6)
- 3 De Felice A., Tsujikawa S. $f(R)$ Theories // *Living Reviews in Relativity.* – 2010. – Vol. 13, Issue 1. – P. 1-161. <https://doi.org/10.12942/lrr-2010-3>
- 4 Myrzakulov R. $f(T)$ gravity and k-essence // *General Relativity and Gravitation.* – 2012. – Vol. 44. – P. 3059-3080. <https://doi.org/10.1007/s10714-012-1439-z>
- 5 Kamenshchik A., Moschella U., Pasquier V. An Alternative to quintessence // *Physics Letters B.* – 2001. – Vol. 511. – P. 265-268. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(01\)00571-8](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(01)00571-8)
- 6 Koussour M., Bourakadi K., Shekh S., Pacif J., Bennai M. Late-time acceleration in $f(Q)$ gravity: Analysis and constraints in an anisotropic background // *Annals of Physics.* – 2022. – Vol. 445. <https://doi.org/10.1016/j.aop.2022.169092>
- 7 Xu Y., Li G., Harko T., Liang Sh. $f(Q, T)$ gravity // *The European Physical Journal C.* – 2019. – Vol. 79. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-7207-4>
- 8 Buchdah H.A. Non-Linear Lagrangians and Cosmological Theory // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 1970. – Vol. 150. – P. 1-8. <https://doi.org/10.1093/mnras/150.1.1>
- 9 Ade A.R., Aghanim N., Arnaud M. et al. Planck 2015 results. XX. Constraints on inflation // *Astron. Astrophys.* – 2016. – Vol. 594. – P. A20-1-A20-65. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525898>
- 10 Akrami Y., Arroja F., Ashdown M. et al. Planck 2018 results. X. Constraints on inflation // *Astron. Astrophys.* 2020. – Vol. 641. – P. 61. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833887>

References:

- 1 Caldwell R. A Phantom menace? // *Phys. Letters B.* – 2002. – Vol. 545. – P. 23-29. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)02589-3](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)02589-3)
- 2 Gibbons G. Cosmological evolution of the rolling tachyon // *Physics Letters B.* – 2002. – Vol. 537. – P. 1-4. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)01881-6](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)01881-6)
- 3 De Felice A., Tsujikawa S. $f(R)$ Theories // *Living Reviews in Relativity.* – 2010. – Vol. 13, Issue 1. – P. 1-161. <https://doi.org/10.12942/lrr-2010-3>
- 4 Myrzakulov R. $f(T)$ gravity and k-essence // *General Relativity and Gravitation.* – 2012. – Vol. 44. – P. 3059-3080. <https://doi.org/10.1007/s10714-012-1439-z>
- 5 Kamenshchik A., Moschella U., Pasquier V. An Alternative to quintessence // *Physics Letters B.* – 2001. – Vol. 511. – P. 265-268. [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(01\)00571-8](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(01)00571-8)
- 6 Koussour M., Bourakadi K., Shekh S., Pacif J., Bennai M. Late-time acceleration in $f(Q)$ gravity: Analysis and constraints in an anisotropic background // *Annals of Physics.* – 2022. – Vol. 445. <https://doi.org/10.1016/j.aop.2022.169092>
- 7 Xu Y., Li G., Harko T., Liang Sh. $f(Q, T)$ gravity // *The European Physical Journal C.* – 2019. – Vol. 79. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-7207-4>
- 8 Buchdah H.A. Non-Linear Lagrangians and Cosmological Theory // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 1970. – Vol. 150. – P. 1-8. <https://doi.org/10.1093/mnras/150.1.1>
- 9 Ade A.R., Aghanim N., Arnaud M. et al. Planck 2015 results. XX. Constraints on inflation // *Astron. Astrophys.* – 2016. – Vol. 594. – P. A20-1-A20-65. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525898>
- 10 Akrami Y., Arroja F., Ashdown M. et al. Planck 2018 results. X. Constraints on inflation // *Astron. Astrophys.* 2020. – Vol. 641. – P. 61. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833887>

FORMATION OF CONVECTIVE FLOWS IN THREE-COMPONENT GAS MIXTURES AT DIFFERENT DIFFUSION CHANNEL RADIUS

Tolebergen A.G.^{1}, Mukamedenkyzy V.¹, Moldabekova M.S.¹, Mirmanova D.S.¹*

¹ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

**e-mail: arsen4236@gmail.com*

Abstract

There are number of effects that distinguish multi-component gas diffusion from binary diffusion. According to the analysis of existing works, convective instability occurs in some systems with significantly different diffusion coefficients and specific geometric and thermophysical properties. By analyzing the stability of the system, it is possible to determine the parameters that can cause transition from diffusive state to convective one. However, this method does not allow to consider the dynamics of the process to characterize the development of convective flows in three-component systems and to assess the influence of the diffusion channel size on the occurrence of concentration gravitational convection. The paper considers the application of mathematical model implementing the method of splitting by physical parameters to describe the occurrence of convective flows. The concentration fields of gas with the highest molecular mass at different moments of time are numerically calculated.

Keywords: gas mixtures; diffusion; convection; instability; numerical calculation; isothermal mixing.

Аңдатпа

А. Төлепберген¹, В. Мукамеденқызы¹, М.С. Молдабекова¹, Д.С. Мирманова¹

¹ *Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

ДИФFUЗИЯЛЫҚ КАНАЛДЫҢ ӘРТҮРЛІ РАДИУСТАРЫНДА ҮШКОМПОНЕНТТІ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ КОНВЕКТИВТІ АҒЫНДАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУЫ

Көпкомпонентті газ диффузиясын бинарлы диффузиядан ажырататын бірқатар әсерлер бар. Қолданыстағы жұмыстар көрсеткендей, конвективті орнықсыздық диффузия коэффициенттері мен геометриялық және жылуфизикалық қасиеттері ерекшеленетін кейбір жүйелерде дамуы мүмкін. Орнықтылықты талдауды қолдана отырып, диффузиялық күйден конвективті күйге ауысуға болатын параметрлер ауқымын анықтауға болады. Алайда, бұл әдіс үшкомпонентті жүйелердегі конвективті ағындардың дамуын сипаттау және диффузиялық канал өлшемдерінің концентрация-гравитациялық конвекцияның пайда болуына әсерін бағалау үшін процестің динамикасын қарастыруға мүмкіндік бермейді. Жұмыста конвективті ағындардың пайда болуын сипаттау үшін физикалық параметрлер бойынша бөлу әдісін жүзеге асыратын математикалық модельді қолдану қарастырылған. Уақыттың әртүрлі мәндерінде ең үлкен молекулалық массаға ие газ концентрациясының өрістері сандық есептеледі.

Түйін сөздер: газ қоспалары; диффузия; конвекция; орнықсыздық; сандық есептеу; изотермдік араласу.

Аннотация

А. Төлепберген¹, В. Мукамеденқызы¹, М.С. Молдабекова¹, Д.С. Мирманова¹

¹ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

ОБРАЗОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАДИУСАХ ДИФFUЗИОННОГО КАНАЛА

Существует ряд эффектов, которые отличают многокомпонентную газовую диффузию от бинарной. Согласно анализу существующих работ, конвективная неустойчивость может развиваться в некоторых системах со значительно различающимися коэффициентами диффузии и специфическими геометрическими и теплофизическими свойствами. Можно определить диапазон параметров, при которых возможен переход из диффузионного состояния в конвективное, используя анализ на устойчивость. Тем не менее, этот метод не позволяет рассмотреть динамику процесса, чтобы охарактеризовать развитие конвективных потоков в трехкомпонентных системах и оценить влияние размера диффузионного канала на возникновение концентрационной гравитационной конвекции. В работе рассмотрено применение математической модели, реализующей метод расщепления по физическим параметрам для описания возникновения конвективных потоков. Численно рассчитаны поля концентрации газа с наибольшей молекулярной массой в разные моменты времени.

Ключевые слова: газовые смеси; диффузия; конвекция; неустойчивость; численный расчет; изотермическое перемешивание.

1. Introduction

In recent times, there has been a growing emphasis on investigating the Rayleigh-Bénard convection problem, which stands as one of the few classical quandaries in the domain of heat and mass transfer [1]. The diverse array of flow patterns that manifest within diffusion channels characterized by specific geometries and gas medium properties is a subject of great intrigue, holding significance from both theoretical and practical standpoints. Through the exploration of gravitational convection within a homogeneously heated environment, it becomes feasible to ascertain parameters related to heat and mass transfer while also facilitating the modeling of optimal geometric attributes for the diffusion channel [2, 3].

The occurrence of instability in mechanical equilibrium and the consequent development of structured convective patterns are notably influenced by the orientations of the density and gravity gradient vectors. Remarkably, it has been observed that the inception and evolution of convective disturbances transpire under varying directions of these mentioned vectors [3].

Nonetheless, when dealing with multicomponent mixtures characterized by the interaction of multiple concentration fluxes, the extension of theoretical frameworks used to describe system behavior may introduce distortions in the anticipated outcomes pertaining to mass transfer. This arises from the omission of factors that are absent in binary systems but come into play in more complex scenarios. One of these crucial factors is the destabilizing influence of diffusion on the evolution of convective flows within mixtures [4].

Convective flows arising in this case form synergetic mixing mechanism leading to selective transfer of a component with given thermophysical properties.

Experimental investigations into diffusion-driven mass transfer within isothermal three-component gas mixtures have revealed that under specific circumstances, such as variations in the diffusion coefficients of the individual components, particular pressure and temperature conditions, initial mixture compositions, and geometric characteristics of the diffusion channel, conditions conducive to the onset of concentration-driven convection manifest themselves [5, 6].

An intriguing aspect of these experimental studies is that concentration-driven gravitational convection was observed in systems initially characterized by stable density stratification of the mixture. Subsequent investigations into the modulation of "diffusion-concentration gravitational convection" regimes have highlighted that the initiation and progression of convective patterns are notably contingent on various factors. These factors include the relative diffusion coefficients of the components, the prevailing pressure, the initial composition of the mixtures scrutinized [9], as well as the geometric attributes of the cavities and the properties of the medium. These influences have been analyzed in a manner akin to analogous issues related to heat-driven gravitational convection.

Observations of convection utilizing both the shadow method and the catarometric sensor method have unveiled a spectrum of convective patterns, typically categorized into the following groups [4]: 1 - chaotic currents characterized by a multitude of counterflows; 2 - dripping convection regime marked by easily discernible convective structures; 3 - fixed strata that define a state of laminar convection.

Elucidating the factors governing the emergence of these patterns is a pertinent endeavor. In this paper, numerical modeling is used to investigate conditions leading to droplet type convection. The results are compared with experimental data.

2. Research method

The collective movement of an isothermal ternary gas mixture on a macroscopic scale is elucidated through a comprehensive system of hydrodynamic equations. This system encompasses the Navier-Stokes equations, equations governing the conservation of particle numbers, and equations pertaining to the behavior of individual components within the mixture. Assuming independent diffusion for an isothermal gas mixture,

when $\sum_{i=1}^3 \vec{J}_i = 0$, $\sum_{i=1}^3 \vec{c}_i = 1$, the system of equations governing its macroscopic motion can be expressed in the following form:

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \nabla \vec{u}) \right] = -\nabla p + \eta \nabla^2 \vec{u} + \left(\frac{\eta}{3} + \xi \right) \nabla \operatorname{div} \vec{u} + \rho \vec{g},$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div}(n \vec{v}) = 0,$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \bar{v} \nabla c_i = -\text{div} \bar{J}_i, \quad (1)$$

$$\bar{J}_1 = -(D_{11}^* \nabla c_1 + D_{12}^* \nabla c_2),$$

$$\bar{J}_2 = -(D_{21}^* \nabla c_1 + D_{22}^* \nabla c_2),$$

where \bar{u} – average mass velocity, \bar{v} – average numerical speed, p – pressure, c_i – concentration of the i -th component, ρ – density, \vec{g} – acceleration of gravity, \vec{J}_i – the density of the diffusion flow of the i -th component, η и ζ – shear and volumetric viscosity coefficients, n – numerical density, D_{ij}^* – practical coefficients of triple diffusion which are defined as follows:

$$\begin{aligned} D_{11}^* &= \frac{D_{13}[c_1 D_{32} + (c_2 + c_3) D_{12}]}{D} \\ D_{12}^* &= -\frac{c_1 D_{23}[D_{12} - D_{13}]}{D} \\ D_{22}^* &= \frac{D_{23}[c_2 D_{13} + (c_1 + c_3) D_{12}]}{D} \\ D_{21}^* &= -\frac{c_2 D_{13}[D_{12} - D_{23}]}{D} \\ D &= c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12} \end{aligned} \quad (1.1)$$

The equations presented earlier are accompanied by an equation that describes the state of the gas mixture

$$\rho = \rho(c_1, c_2, p), T = \text{const},$$

which relates the thermodynamic parameters in (1).

The method of small perturbations was applied to resolve the system of equations presented in (1). The resultant system of equations, which describes gravitational concentration convection for perturbed quantities in dimensionless units, can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_{22} \frac{\partial c_1}{\partial t} - (\bar{u} \vec{\gamma}) &= \tau_{11} \nabla^2 c_1 + \frac{A_2}{A_1} \tau_{12} \nabla^2 c_2, \\ \text{Pr}_{22} \frac{\partial c_2}{\partial t} - (\bar{u} \vec{\gamma}) &= \frac{A_1}{A_2} \tau_{21} \nabla^2 c_1 + \nabla^2 c_2, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\nabla p + \nabla^2 \bar{u} + (Ra_1 \tau_{11} c_1 + Ra_2 c_2) \vec{\gamma},$$

$$\text{div} \vec{v} = 0,$$

where

$$\text{Pr}_{ii} = \frac{\nu}{D_{ii}^*} \text{ – the diffusion Prandtl number;}$$

$$Ra_i = \frac{g \beta_i A_i r^4}{\nu D_{ii}^*} \text{ – partial Rayleigh number;}$$

$$\tau_{ij} = \frac{D_{ij}^*}{D_{22}^*} - \text{parameters determining the relationship between practical diffusion coefficients,}$$

ν – kinematic viscosity, r – characteristic geometric size, β_i – **the coefficient of linear dependence of the density of the i -th component on the concentration**, A_i – dimensionless concentration gradient of the i -th component, $\vec{\gamma}$ – a unit vector directed vertically upwards.

The system of equations (2) was solved numerically using the splitting method by physical parameters [7-9]. The set of equations given in (2) is addressed by solving them within the context of flat vertical cylindrical channel. This is done while considering boundary conditions that involve the cessation of both velocity and the movement of substances at the boundaries of the channel.

$$r = \pm 1, \quad x = \pm 1, \quad u = 0, \quad \frac{\partial c_i}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial c_i}{\partial x} = 0 \quad (2.2)$$

where x is the horizontal axis.

The resolution of the equations in the system described by system of equations (2) for a vertical cylindrical channel with finite height led to the establishment of a boundary relationship, expressed in terms of Rayleigh numbers. This relationship determines the alteration of diffusion-convection modes, as depicted by equation (2.3):

$$\tau_{11}(1 - \frac{A_2}{A_1}\tau_{12})Ra_1 + (\tau_{11} - \frac{A_1}{A_2}\tau_{21})Ra_2 = \gamma^4(\tau_{11} - \tau_{12}\tau_{21}) \quad (2.3)$$

where $\gamma = Ra^{1/4}$, i.e., $\gamma = (Ra_1\tau_{11}K_1 + Ra_2K_2)^{1/4}$, $K_1 = (1 - (A_2/A_1)\tau_{12}) / (\tau_{11} - \tau_{12}\tau_{21})$, $K_2 = (1 - (A_1/A_2)\tau_{21}) / (\tau_{11} - \tau_{12}\tau_{21})$; A_i is a partial concentration gradient of component i ; and equation (2.4):

$$\int u \nabla^2 u dV + Ra_1 \tau_{11} \int u_z c_1 dV + Ra_2 = 0 \quad (2.4)$$

where u_z is the vertical velocity component.

Equations (2.3) and (2.4) establish the boundary that characterizes monotonic instability in the (Ra_1, Ra_2) coordinates. This boundary serves to delineate the areas corresponding to stable diffusion and diffusion instability.

To facilitate the calculated data for assessing stability and instability regions, the Rayleigh partial numbers are provided in alignment with equations (2.3) and (2.4) as detailed in equation (2.5):

$$Ra_1 = \frac{gnr^4 \Delta m_1}{\rho \nu D_{11}^*} \frac{\partial c_1}{\partial z} \quad (2.5)$$

$$Ra_2 = \frac{gnr^4 \Delta m_2}{\rho \nu D_{22}^*} \frac{\partial c_2}{\partial z}$$

where g is an acceleration due to gravity, m_i is the mass of the molecule i , $\Delta m_1 = m_1 - m_3$, $\Delta m_2 = m_2 - m_3$, and n is the molecular concentration.

Two - dimensional cross-sectional area of a cylinder with an area $H \times d$ (H – the height of the cylinder, d – the diameter of the cylinder) in a Cartesian coordinate system is considered. The calculations were performed using a grid that was dimensionless and had dimensions of 128×128 . The calculations were divided into four stages:

1. The initial phase of the computation relies on the utilization of the Adams-Bashforth and Crank-Nicolson method. Under this assumption, it is implied that the transfer of momentum occurs exclusively through the mechanisms of convection and diffusion.

$$\frac{u^n - u^{n-1}}{\Delta t} = -\frac{1}{2}(3H^n - H^{n-1}) + \frac{1}{2}\Delta(u^n + u^{n-1}) + (Ra_1\tau_{11}c_1 + Ra_2c_2)\gamma, \quad (3)$$

where $H^n = -\nabla(u * u)^n$.

2. The second phase of the calculation entails modeling the interplay between pressure and velocity.

$$\Delta p = \frac{\nabla * u^n}{\Delta t} \quad (4)$$

3. In the third stage of the calculation, it is outlined how the velocity field evolves in response to a reduction in pressure.

$$\frac{u^{n+1} - u^n}{\Delta t} = -\nabla p \quad (5)$$

4. In the fourth stage of the calculation, the focus shifts to determining the concentration of the components within the mixture.

$$\begin{aligned} \frac{c_1^{n+1} - c_1^n}{\Delta t} &= \frac{1}{2}(F^{n+1} - F^n) + \frac{1}{Pr_{11}}\Delta c_1^n + \frac{1}{Pr_{12}}\Delta c_2^n \\ \frac{c_2^{n+1} - c_2^n}{\Delta t} &= \frac{1}{2}(F^{n+1} - F^n) + \frac{1}{Pr_{21}}\Delta c_1^n + \frac{1}{Pr_{22}}\Delta c_2^n \end{aligned} \quad (6)$$

$$c_3^{n+1} = 1 - c_1^{n+1} - c_2^{n+1}$$

where $F^n = -\nabla(u^{n+1} * c^n)$ – convection members.

The problem at hand was resolved under the subsequent boundary conditions:

$$u(x_b, \tau) = 0, \frac{\partial c_i}{\partial n} = 0, i = 1...3. \quad (7)$$

3. Numerical calculation results

The results of the numerical study are illustrated in Figure 1, which portrays the temporal evolution of the density-normalized concentration of the heaviest component, butanol, within the ternary system composed of 0.8 H₂O + 0.2 C₄H₁₀O – N₂. This system was experimentally examined in [10]. By scrutinizing the graphs, various mixing modes can be discerned.

Initially, as depicted in Fig. 1a, diffusion dominates the process. However, at a time of 6.32 seconds from the initiation of the process, there is an evident departure from the expected monotonic distribution of isoconcentration lines (Fig. 1b). This deviation is not characteristic of the diffusion-based mixing process and implies the occurrence of mechanical equilibrium instability within the system at that particular moment.

Figure 1d shows the convective cell that emerged 12.63 seconds after the start of mixing. Continued mixing time leads to the creation of a droplet (Fig. 1e) and its subsequent detachment (Fig. 1f), indicating a drip mixing mode in the vapor-gas system. With different initial conditions, the process of structure formation starts again.

Given that one of the parameters influencing the onset of the convective process is the geometry of the diffusion channel, specifically its radius, calculations were carried out to ascertain the time points at which distinct types of flows are established for varying channel radii.

Table 1 presents the mixing times for different diffusion channel radii in a triple mixture of 0.8 H₂O + 0.2 C₄H₁₀O – N₂. The mixing times include the time for diffusion (t_1), the occurrence of mechanical equilibrium instability (t_2), and the formation of structure (t_3).

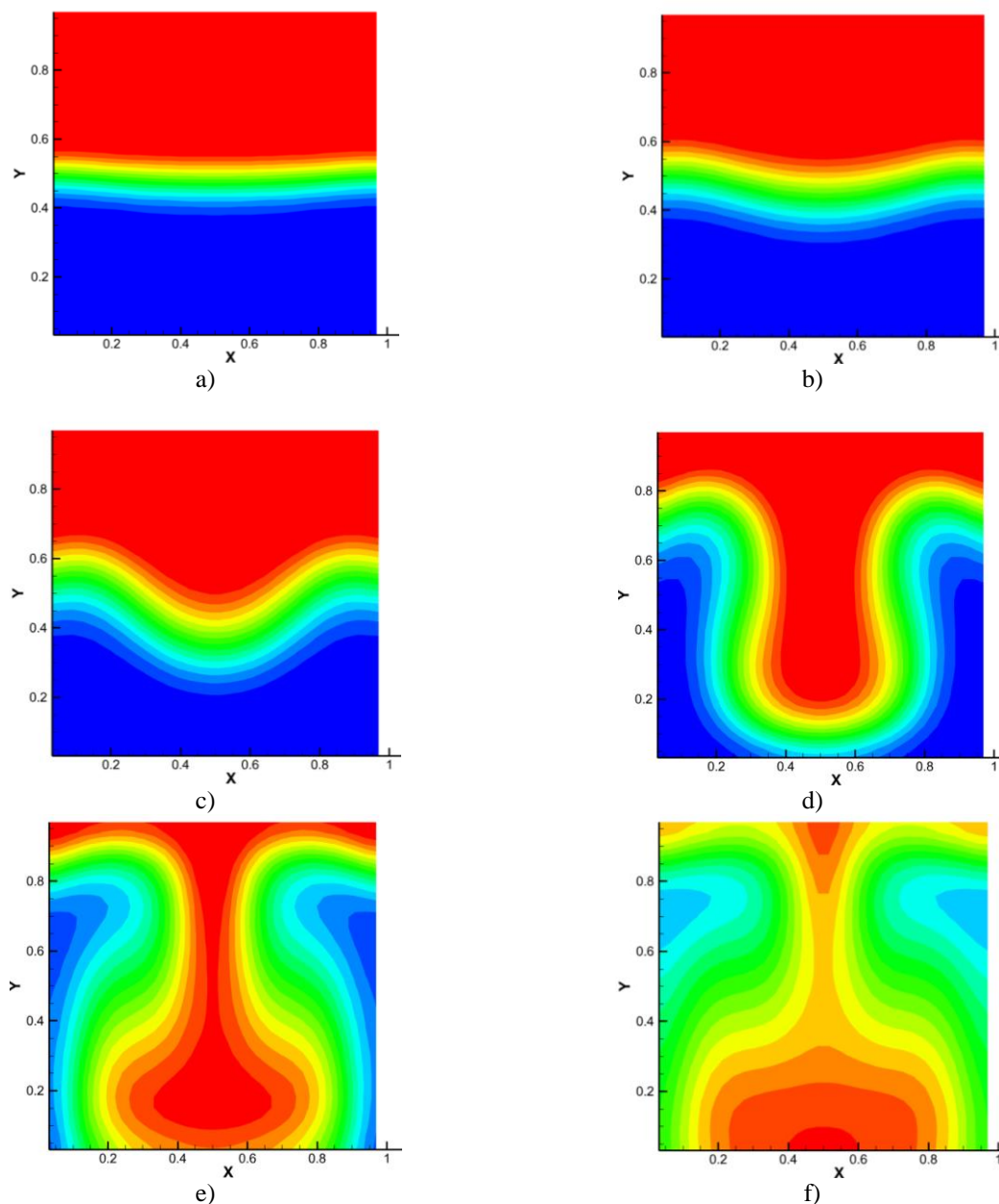


Figure 1. Butanol isoconcentration lines for the system $0.8 \text{ H}_2\text{O} + 0.2 \text{ C}_4\text{H}_{10}\text{O} - \text{N}_2$ at $p = 0.1 \text{ MPa}$, $T = 298.0 \text{ K}$ and $r = 8.5 \text{ mm}$:
 a) $t_1 = 4.24 \text{ s}$; b) $t_2 = 6.32 \text{ s}$; c) $t_3 = 8.42 \text{ s}$; d) $t_4 = 12.63 \text{ s}$; e) $t_5 = 14.7 \text{ s}$; f) $t_6 = 18.96 \text{ s}$.

Table 1. Mixing time of butanol at different radii of the diffusion channel

$0.8 \text{ H}_2\text{O} + 0.2 \text{ C}_4\text{H}_{10}\text{O} - \text{N}_2$ ($p = 0.1 \text{ MPa}$, $T = 298.0 \text{ K}$)				
$t, \text{ s}$	$r = 6.5 \text{ mm}$	$r = 7.5 \text{ mm}$	$r = 8.5 \text{ mm}$	$r = 10 \text{ mm}$
1	16.95	6.35	4.24	3.22
2	21	10.53	6.32	4.21
3	-	14.7	8.42	5.44
4	-	23.17	12.63	6.32
5	-	31.6	14.7	8.42
6	-	42.12	18.96	10.53

The results presented in Table 1 demonstrate a direct correlation between the mixing times at various stages of convective flows and the radius of the diffusion channel. It's evident that critical radius values exist at which the transition from pure diffusion to diffusion-convective mixing takes place. Specifically, when the radius is

6.5 mm or smaller, mixing solely occurs due to diffusion. However, when the radius reaches 7.0 mm or larger, the formation of structured flow and observable convective drops becomes evident.

Significantly, there are substantial variations in the time required for different radius values to progress through various stages of mixing. For instance, the formation and separation of a convective droplet at a radius of 10 mm occurs approximately four times faster than at a radius of 7.5 mm.

The calculations indicate that there are specific channel sizes where the conditions for convection do not exist. At a certain diameter of the diffusion channel, a transition from "diffusion" to "convection" occurs, characterized by the emergence of a non-monotonic isoconcentration distribution of the component with the highest molecular weight, and this transition has a characteristic formation time. As the radius of the diffusion channel increases, the time at which the non-monotonic concentration distribution appears decreases, indicating an enhancement in the mixing process. Through the conducted studies, it has been established that enlarging the radius of the diffusion channel leads to a heightened drip regime within the examined mixture. Importantly, the results obtained from the numerical calculations align with the experimental data, affirming the consistency of the findings.

4. Conclusion

The numerical investigation conducted in this study delves into the emergence of mechanical equilibrium instability and subsequent structural development within the $H_2O + C_4H_{10}O - N_2$ steam-gas system. This investigation is founded on a splitting scheme that considers various physical parameters. The employed mathematical model facilitates the characterization of convective structural formation at different diffusion channel radii. The key observation is that convective instability arises primarily due to the notable curvature of the isoconcentration lines, a feature absent in pure diffusion processes. Notably, the results obtained from this numerical study align with the experimental data. Furthermore, the study reveals that an increase in the diffusion channel's radius intensifies the dripping regime within the studied mixture.

Thus, the proposed numerical algorithm adequately describes the "diffusion – convection" transition, allows us to determine the spectrum of thermophysical and geometric parameters affecting the occurrence of the convective regime.

5. Acknowledgments

The work was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (project AP09259248 «The emergence of concentration gravitational convection during multicomponent diffusion in stably – stratified media»).

References:

- 1 N. Sabet, H. Hassanzadeh, A. De Wit, J. Abedi, *Phys. Rev. Lett.* 2021, 126, 094501. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.094501>
- 2 A. Banerjee, *J. Fluids Eng.* 2020, 142 (12), 120801. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4048349>
- 3 H. Matsuura, Y. Nagasaka, *Rev. Sci. Instrum.* 2018, 89 (2), 024903. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5013292>
- 4 Kosov V.N., Asembaeva M.K., Fedorenko O.V., Mukamedenkyzy V. *Changing diffusion – convection modes in ternary mixtures with a diluent gas // Theoretical Foundations of Chemical Engineering.* 2020. V. 54. № 2. P. 289-296.
- 5 Kosov, V.N., Mukamedenkyzy, V., and Fedorenko, O.V. *Some features of the mixing of three-component gas mixtures at the boundary of the diffusion – concentration gravitational convection regime change under quasi-steady-state conditions, Vestn. Mosk. Gos. Obl. Univ., Ser.: Estestv. Nauki,* 2018, no. 2, p. 125.
- 6 Kossov V.N., Asembaeva M., Fedorenko O.V., Moldabekova M., Mukamedenkyzy V. *Intensification of the separation of isothermal ternary gas mixtures containing carbon dioxide. // Chem. Eng. Technol.* 2021. V. 44. № 11. P. 2034-2040.
- 7 Kossov, V., Fedorenko, O., Zhakebayev, D. *Features of multicomponent mass transfer in gas mixtures containing hydrocarbon components // Chem. Eng. Technol.* 2019. V. 42. № 4. P. 896.
- 8 Kossov V.N., Fedorenko O.V., Zhakebaev D.B., Kizbaev A.P. *Peculiarities of the rise of structured formations at the boundary of the change of the regimes “Diffusion – Concentration convection” at an isothermal mixing of a binary mixture equally diluted by the third component // Thermophysics and Aeromechanics.* 2019. T. 26. № 1. P. 31-40. DOI: [10.1134/S0869864319010049](https://doi.org/10.1134/S0869864319010049)
- 9 Kossov V., Zhakebaev D., Fedorenko O.V. *Numerical mass transfer studies in case of convective flows occurrence in isothermal ternary gas mixtures // Computational Thermal Science.* 2019. V. 11. № 1-2. P. 29-39.
- 10 Dil'man V.V., Lipatov D.A., Lotkhov V.A., Kaminskii V.A. *Instability in unsteady-state evaporation of binary solutions into an inert gas. Theoretical Foundations of Chemical Engineering,* 2005, T. 39. № 6. P. 566-572. DOI: [10.1007/s11236-005-0118-0](https://doi.org/10.1007/s11236-005-0118-0)

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

МРНТИ 14.07.07
УДК 372.851

10.51889/2959-5894.2023.83.3.010

А. Аблякиева^{1}, Б. Омарбаева¹, Б. Бостанов¹, А. Адиева²*

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау қ., Қазақстан

*e-mail: 22M33465@qzpu.edu.kz

**7-СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯДАН САЛУ ЕСЕПТЕРІН ТҮСІНУІНЕ GEOGEBRA
БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ ӘСЕРІ**

Аңдатпа

Бұл жұмыста Geogebra бағдарламасының көмегімен геометрия пәнінен 7 сыныпта өтілетін «Салу есептері» тақырыбын оқытудағы оқушылардың үлгеріміне әсерін анықтау қарастырылады. Зерттеу жүргізу барысында квазиэксперименттік әдіс қолданылып, оған № 129 жалпы білім беретін мектептің 7 сынып оқушылары қатысты. Оқушыларды 15-тен екі топқа: 1-шісі компьютерлік интерактивті Geogebra бағдарламасының көмегімен оқытылатын эксперименттік, 2-шісі дәстүрлі оқыту қолданылатын бақылау тобы болып бөлінді. Зерттеуді жүргізу барысында оқушылардан pre-test (зерттеуге дейінгі) және post-test (зерттеуден кейінгі) тестілері алынды. Зерттеуге дейінгі және кейінгі тесттер арасындағы айырмашылық Geogebra бағдарламасы оқушылардың оқу үлгеріміне әсерін анықтайтын етіп құралды. Сонымен қатар, Geogebra бағдарламасының әсері, пайдасы туралы оқушылардан сауалнама алынып, сауалнама нәтижесі талқыланды. Нәтижесінде Geogebra бағдарламасының ($p < 0,05$) «Салу есептері» тақырыбын оқытудағы пайдасы, әсері, тиімділігі анықталды.

Түйін сөздер: салу есептері, геометрия, Geogebra, әсер, қабылдау.

Аннотация

А. Аблякиева¹, Б. Омарбаева¹, Б. Бостанов¹, А. Адиева²

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

²Атырауский университет имени Х. Досмұхамедова, г. Атырау, Казахстан

**ВЛИЯНИЕ ПРОГРАММЫ GEOGEBRA НА УСВОЕНИЕ УЧАЩИМИСЯ 7 КЛАССА ЗАДАЧ
ПОСТРОЕНИЯ ПО ГЕОМЕТРИИ**

В данной работе рассмотрено влияние программы Geogebra на успеваемость в преподавании темы «Задачи на построение» по предмету геометрия в 7 классе. В ходе исследования был использован квазиэкспериментальный метод, в нем приняли участие учащиеся 7 класса общеобразовательной школы № 129 г. Алматы. Учащиеся были разделены на две группы по 15 человек: 1 группа представляла собой экспериментальную группу, обучающихся с использованием компьютерной интерактивной программы Geogebra, а 2 группа контрольную группу с использованием традиционного метода обучения. В ходе исследования были проведены тесты pre-test и post-test у учащихся. Разница между тестированиями исследования определит влияние программы GeoGebra на успеваемость учащихся. Кроме того, среди учащихся был проведен опрос о влиянии и преимуществах программы Geogebra, а также обсуждены результаты опроса. В результате были определены польза, влияние и эффективность программы Geogebra ($p < 0,05$) при изучении темы «Задачи на построение».

Ключевые слова: задачи на построение, геометрия, Geogebra, эффект, восприятие.

Abstract

EFFECT OF USING GEOGEBRA ON 7TH CLASS LEARNERS UNDERSTANDING IN LEARNING GEOMETRIC CONSTRUCTION PROBLEMS

Ablyakieva A.¹, Omarbayeva B.¹, Bostanov B.¹, Adiyeva A.²

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

In this paper was considered the effect of the Geogebra program in teaching the topic "Geometric construction problems" of the geometry subject on 7th grade learner's academic performance. During the research was used the quasi-experimental method, in which took part 7th grade learners of general education school no129. The learners were divided into two groups. In the first group was an experimental group taught using the computer interactive Geogebra program, and in the second groups were a control group using traditional teaching. During the research from learners were taken pre-test and post-test. The difference between the pre-test and post-test of the study will determine the effect of Geogebra program on learners' academic performance. In addition, from students was taken a survey about the impact and benefits of the Geogebra program, and the results of the survey were discussed. As a result, the usefulness, impact, and effectiveness of the Geogebra program ($p < 0.05$) in teaching the topic "Geometric construction problems" were determined.

Keywords: Geometric construction problems, Geometry, Geogebra, effect, perception.

Кіріспе

Оқыту технологияларының қарқынды өсуіне байланысты, мектепте білім беру барысында әртүрлі компьютерлік бағдарламалық жасақтамаларды оқытуға енгізуді қажет етеді. Мектеп математикасын оқыту барысында қазіргі білім беру жүйесіне сай баланың қабілеттерін дамыту мақсатында математикалық пакеттер қолданылады. Оларға Жанды математика, Математикалық конструктор, Crocodile, Cinderella, GeoNext, Geometr's Sketchpad, Excel, Matlab, Mathcad, Maple және т.б. Бұл бағдарламаларды қолданып, мектеп математика курсына кездесетін тақырыптарды оқушыларға жан-жақты, қызықты, әрі түсінікті етіп жеткізуге болады. Қазіргі таңда геометрияны оқытудағы зерттеу тәсілін енгізудегі жоғарыда айтылған бағдарламалық жасақтамалар классының тиімділігі күмән тудырмайды. Оны көптеген зерттеушілерде растады, мысалы В.А. Далингер, N. Jackiw, В.Н. Дубровский, М. В. Шабанова, М. Г. Шабат [1-5]. Осындай бағдарламалардың бірі – Geogebra. Geogebra бағдарламасын қолданып, сабақты тиімді етіп өткізуге және оқушылардың үлгеріміне әсеріне қатысты көптеген зерттеулер жүргізілген. Мысалы, E Sudihartinih, dan T Purniati [6] жұмысында квазиэксперименттік зерттеу арқылы Geogebra бағдарламасы оқушылардың шеңбер ұғымын түсінуіне және әсерін анықтайды. Зерттеу жүргізу үшін олар оқушыларды 2 топқа бөледі: А тобы – Geogebra бағдарламасы қолданылатын эксперименттік топ, В тобы – дәстүрлі оқыту әдістері қолданылатын бақылау тобы. Екі топтан алдымен зерттеуге дейін және зерттеуден кейінгі тест арқылы тексеріліп, нәтижелері бағаланған. Талдау деректері А тобы (эксперименттік топ) В тобына (бақылау тобы) қарағанда шеңбер ұғымын түсіну деңгейі жоғары екенін көрсеткен. Олар зерттеуден Geogebra-ны мектеп математикасында қолданудың маңыздылығын және оқушылардың үлгеріміне оң әсерін байқаған. Ал, Nazihatulhasanah Arbain және Nurbiha A. Shukor [7] жұмысында Geogebra бағдарламасының мектеп оқушыларының үлгеріміне оң әсер ететінін, сабаққа ынтасын арттыратынын және мотивация тұрғысынан да жақсы көрсеткіштерге қол жеткізген. Geogebra бағдарламалық жасақтамасын оқушылардың оқу үлгеріміне әсерін және тиімділігін зерттеу үшін, Y.Zhang, P.Wang, W.Jia, A.Zhang, G.Chen 2002 жылдан бастап 2022 жылға дейінгі оқушылардың математикалық үлгерімін зерттеуге метаталдау жүргізген [8]. Авторлар соңғы 20 жылда 14 зерттеу жүргізіп, зерттеуге 1334 оқушы қатысқан. Талдау нәтижелері оқушылардың математикалық үлгерімін жақсартуға арналған динамикалық визуалды құрал ретінде Geogebra-ның оң әсер бергенін көрсеткен.

Жоғарыда келтірілген зерттеулерде мектеп математикасындағы Салу есептерді шебер оқытуға болатын Geogebra бағдарламасы сияқты математикалық пакеттер көп қолданылмайды. Яғни, 7 сыныптағы геометриядан салу есептерін визуалды түрде көрсетуге болатынын, атап айтсақ Geogebra ортасында салу жеткілікті қарастырылмаған. Сондай-ақ салу есептерін оқытуда Geogebra бағдарламасының тиімділігі және оның оқушылардың үлгеріміне әсері біздің мектептерде тіпті қолданыста жоқ деп те айтуға болады.

Сонымен, зерттеудің негізгі мақсаты – 7-сыныптың геометрия сабағында салу есептерін оқытуда Geogebra бағдарламасының тиімділігін анықтай отырып, оның оқушылардың оқу үлгеріміне әсерін және Geogebra бағдарламасы туралы түсініктерін қалыптастыру болып табылады.

Негізгі нәтижелер

Зерттеу әдіснамасы. Зерттеуде квазиэксперименттік әдіс қолданылып, оған Алматы қаласындағы №129 жалпы білім беретін мектептің жетінші сынып оқушылары қатысты. Оқушылар: эксперименттік және бақылау тобы болып рандомды түрде екіге бөлінді. Оқушылардың зерттеу туралы және Geogebra бағдарламасы туралы хабары болған жоқ. 1-кестеде оқушылардың бөлінген топтары және зерттеу әдістері көрсетілген. Зерттеуге дейінгі және кейінгі тесттер арасындағы айырмашылық Geogebra бағдарламасы оқушылардың оқу үлгеріміне әсер еткенін анықтайтын болады.

Кесте 1. Әдістер мен топтар

Топтар	Зерттеуге дейін	Әдістер	Зерттеуден кейін
Эксперименттік	A_1	Geogebra бағдарламасы – ның көмегімен	A_3
Бақылау	A_2	Дәстүрлі	A_4

1-кестеде: A_1 = Эксперименттік топтан зерттеуге дейін алынған тест, A_2 = Бақылау тобынан зерттеуге дейін алынған тест, A_3 = Эксперименттік топтан зерттеуден кейінгі тест, A_4 = Бақылау тобынан зерттеуден кейінгі тест. Зерттеуде оқушылардан алынған сынаққа дейін және кейінгі тесттері 12 баллдық шкала бойынша, жаңартылған білім мазмұнына сай бағдарлама бойынша, дескрипторларды ескере отырып жасалды. 2-кестеде эксперимент және бақылау топтарының математика пәнінен орташа баллдарында айырмашылық жоқ екенін көруге болады, яғни, 2-топтың білім деңгейі бірдей.

Кесте 2. A_1 және A_2 тест нәтижелері

Топтар	Саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні
Эксперименттік	15	8,47	2,01	0,923
Бақылау	15	8,6	2,165	

7 сыныптың геометрия пәніндегі «Салу есептері» тақырыбына күнтізбелік тақырыптық жоспар бойынша 3 сағат бөлінеді. Оқушылардың сабаққа қызығушылығын арттыру мақсатында, жаңартылған білім мазмұнына сай интерактивті әдістер, АКТ қолданылып 6 сабақ жоспары жасалынды. Төменде 3-кестеде сабақтың кейбір фрагменттерін ұсынамыз.

Кесте 3. Эксперименттік тобында өтілген сабақтың барысы

№	Сабақ кезеңі	Әдіс-тәсілдер	Ұйымдастырылуы
1	Басы	«Геометриялық фигуралар» әдісі	Оқушылар карточка арқылы 4 топқа бөлінді (бұрыш, түзу, үшбұрыш, шеңбер) элементтер сабақпен байланыстырылды.
2	Басы	«Жедел хат» әдісі	Өткен тақырыпты қайталау мақсатында сұрақтар жазылған конверт оқушылар арасында үлестірілді.
3	Ортасы	«Аукцион ойыны»	Оқушылар 4 топқа бөлініп, аукционға қойылған есептерді топта жарыса талдап, шығарады.
4	Ортасы	«Жұмыс парағы» әдісі	Әр оқушыға Geogebra бағдарламасында өзіндік жұмыс үлестірілді.
5	Соңы	«Лотарей ойыны»	Оқушыларға лотарей билеттері таратылып, экранда қай билет шықса, сол номердегі оқушы сабақ бойынша пысықтау сұрақтарына жауап береді.
6	Соңы	«Транспортир» әдісі	Оқушылар транспортирдің стрелкасы арқылы өзінің сабақтағы белсенділігін, үлгерімін бағалайды.

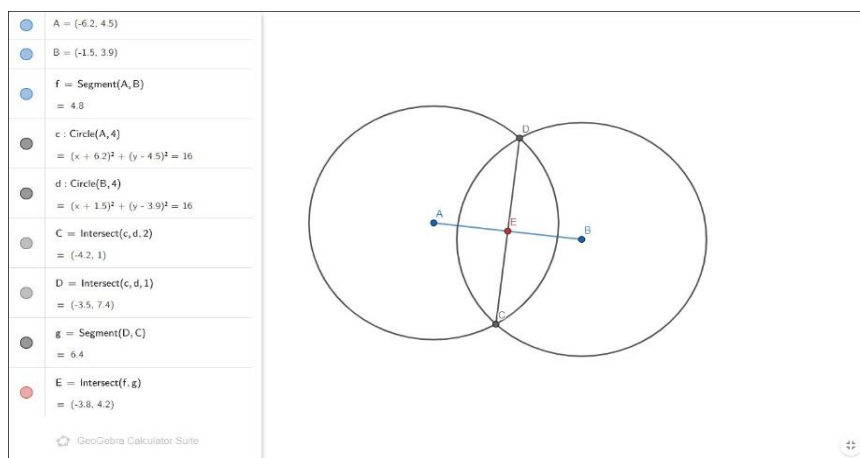
Сабақ өту үшін 7 сыныптың А.Н.Шыныбеков, Д.Шыныбековтың «Геометрия» оқулығы қолданылды [9]. Зерттеудің практикалық кезеңінде Geogebra бағдарламасын қолданып, аталған оқулықтағы салу есептерінің өмірмен байланыстырылған түрлері қарастырылып, шығару жолдары қадам-қадаммен көрсетілді. Енді осы қарастырылған есептердің кейбіреулеріне тоқталып кетейік.

Мысал 1. Geogebra бағдарламасын қолданып, берілген АВ кесіндісін циркуль мен сызғыштың көмегімен қак бөліңіз («нүкте», «кесінді», «шеңбер» құралдары қолданылады).

Мысалды Geogebra бағдарламасында салу алгоритмі және сызбасы 1-суретте.

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және геометрия тақтасын таңдаңыз. Берілген АВ кесіндісін салыңыз.

2. «Радиусы берілген шеңбер» таңдап, центрі А, радиусы $AC > \frac{AB}{2}$ тең шеңбер саламыз.
3. «Радиусы берілген шеңбер» таңдап, центрі В, радиусы АС-ға шеңбер саламыз.
4. Екі шеңбердің қиылысу нүктелерін С, D деп белгілеп, CD кесіндісін жүргіземіз.
5. CD және АВ кесінділерінің қиылысу Е нүктесі – ізделінді. $AE = BE$.

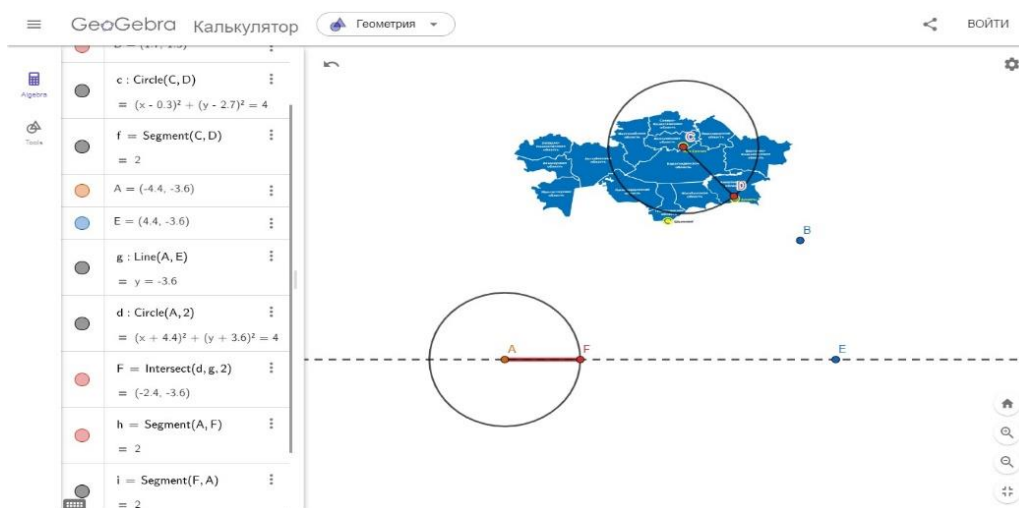


Сурет 1. Бірінші мысалдың Geoebra бағдарламасындағы бейнесі

Мысал 2. Geoebra бағдарламасында картаны қолданып, Алматы мен Астана қалаларының арақашықтығына тең кесінді салыңыз (геодезиямен байланысы бар есеп).

Мысалды Geoebra бағдарламасында салу алгоритмі және сызбасы 2-суретте.

1. Алдымен Geoebra бағдарламасын ашыңыз және геометрия тақтасын таңдаңыз. Берілген картаның суретін бағдарламаға енгізіңіз.
2. Астана қаласын С нүктесімен, Алматы қаласын D нүктесімен бейнелеп, C және D нүктелері арқылы түзу жүргіземіз.
3. Одан соң циркуль көмегімен центрі С радиусы CD болатын шеңбер бейнелейміз.
4. А нүктесі арқылы түзу жүргіземіз және центрі А радиусы CD – ға тең шеңбер салып, қиылысу нүктесін F деп белгілейміз.
5. Нәтижесінде AF ізделінді кесінді және $AF = CD$.



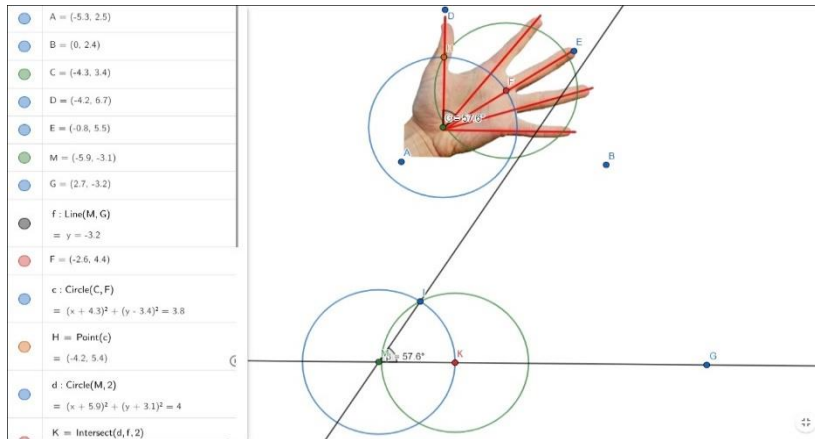
Сурет 2. Екінші мысалдың Geoebra бағдарламасындағы бейнесі

Мысал 3. Geoebra бағдарламасын қолданып, циркуль мен сызғыштың көмегімен бас бармақ пен ортаңғы саусақ арасындағы бұрышқа тең бұрышты салыңыз. Нешеге тең? (медицинамен байланысы бар есеп).

Мысалды Geoebra бағдарламасында салу алгоритмі және сызбасы 3-суретте.

1. Алдымен Geoebra бағдарламасын ашыңыз және геометрия тақтасын таңдаңыз. Берілген қолдың суретін бағдарламаға енгізіңіз. Бізге $\angle CDE = \angle KMI$ салу қажет.

2. Берілген суретте центрі С, ерікті радиус пен шеңбер саламыз. $CH=CF$ – радиус.
3. М нүктесі арқылы түзу жүргізіп, центрі М нүктесі радиусы CH -ға тең шеңбер саламыз. Сонда, $MK = CH$.
4. Берілген суретте центрі F, радиусы FH –ға тең шеңбер саламыз.
5. Одан кейін сондай радиуспен шешуінде центрі К, радиусы FH -ға тең шеңбер саламыз. Нәтижесінде, KMI ізделінді бұрыш.
6. Тексеру үшін Geogebra бағдарламасындағы «бұрыш» құралын қолдануымызға болады. $\angle CDE = \angle KMI$

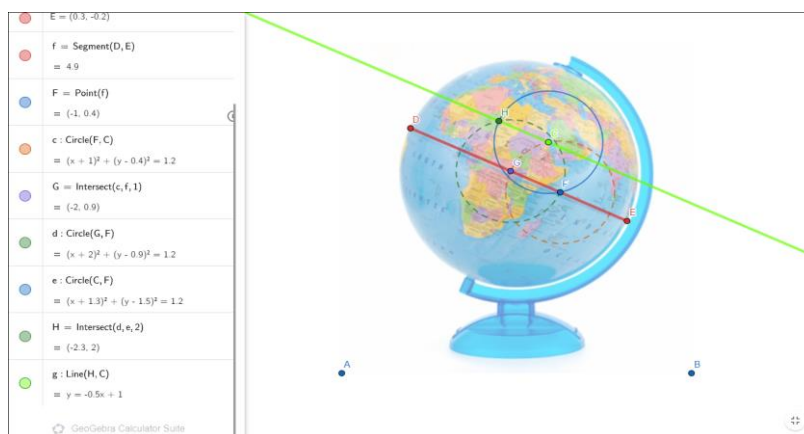


Сурет 3. Үшінші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы бейнесі

Мысал 4. Geogebra бағдарламасын қолданып, жер шарының экватор сызығына берілген нүкте арқылы өтетін параллель түзу жүргізіңіз (геодезиямен байланысы бар есеп).

Мысалды Geogebra бағдарламасында салу алгоритмі және сызбасы 4-суретте.

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және геометрия тақтасын таңдаңыз. Берілген жер шарының суретін бағдарламаға енгізіңіз. Бізге С нүктесі арқылы өтетін және DE кесіндісіне параллель болатын түзу жүргізу қажет.
2. DE кесіндісінің кез келген жерінен F нүктесін белгілеп аламыз және центрі F, радиусы FC тең шеңбер саламыз. Шеңбердің және DE кесіндісінің қиылысу нүктесін G деп белгілейміз.
3. Центрі G, радиусы FC тең шеңбер саламыз.
4. Центрі C, радиусы FC тең шеңбер салып, шеңберлердің қиылысу нүктесін H деп белгілейміз.
5. C және H нүктелері арқылы түзу жүргіземіз. $CH \parallel DE$



Сурет 4. Төртінші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы бейнесі

Зерттеу жоспарына сай эксперименттік топта Geogebra бағдарламасының көмегімен, ал бақылау тобында дәстүрлі форматта сабақ өткізіліп, оқушылардан сынақтан кейінгі тест алынды. 4 – кестеде сынақтан кейінгі тесттің нәтижелері келтірілген. Үлгерімі бойынша эксперименттік топта айтарлықтай айырмашылық табылып, әсер мөлшері ($d=0,892$) жоғары екені анықталды. Бұдан Geogebra бағдарламасының геометриялық салу тақырыбын оқудағы әсерінің тиімді екенін көруге болады.

Кесте 4. А₃ және А₄ тест нәтижелері

Топтар	Саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні	Әсер мөлшері
Эксперименттік	15	9,8	1,612	0,01	0,892
Бақылау	15	8,733	1,387		

*p-мәні <0,05 (яғни маңызды)

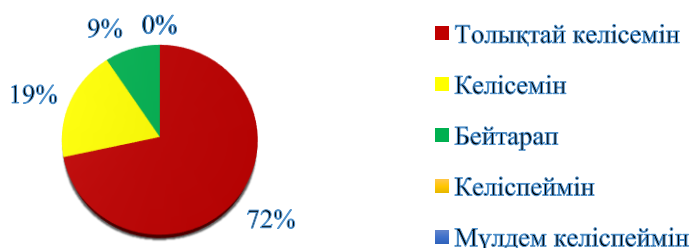
Зерттеу аяқталғаннан кейін эксперименттік және бақылау топтарынан сабақтағы алған әсерін сұрау мақсатында сауалнама алынды. Сауалнама Ликерт шкаласы бойынша жасалып 8 сұрақтан тұрды. Олар: ТК – толықтай келісемін, ЖК – жартылай келісемін, Б – бейтарап, К – келіспеймін, МК – мүлдем келіспеймін жауаптарын қамтыды [10].

Салу есептері тақырыбын оқыту кезінде оқушылардың Geogebra бағдарламасының көмегімен тақырыпты қабылдау деңгейі жоғары екенін 5 – кестеден көре аламыз.

Кесте 5. Сауалнама нәтижелері

Сұрақтар	Пайыздық көрсеткіші %				
	ТК	ЖК	Б	К	МК
Маған геометриялық салуларды Geogebra арқылы оқыған ұнады	80	15	5	0	0
Geogebra көмегімен геометриялық салулар тақырыбын жетік меңгердім.	60	15	25	0	0
Geogebra менің шығармашылығымды арттырады	73,3	26,7	0	0	0
Geogebra көмегімен салуларды жылдам әрі тез орындаймын	66,7	20	13,3	0	0
Geogebra-ны сабақтарда қолдану тиімді	73,3	20	6,7	0	0
Geogebra бағдарламалық жасақтамасын математиканы оқыту барысында мұғалім қолданса қуанамын	66,7	20	13,3	0	0
Geogebra бағдарламалық құралымен математиканы үйренгенді жөн көремін	73,3	20	6,7	0	0
Математикалық ұғымдарды меңгеру кезеңінде Geogebra бағдарламасы көмектеседі	80	15	5	0	0
Орташа мәні	71,6	19,0	9,4	0	0

Сауалнама нәтижелерін диаграмма түрінде 5-суретте бейнелейік:



Сурет 5. Сауалнама нәтижелері

Нәтижелерді талқылау

Сауалнаманың нәтижесі бойынша оқушылардың 71,6 % толықтай келісемін, 19,0% жартылай келісемін және 9,4% бейтарап жауабын таңдаған. Демек, оқушылар Geogebra-ның тиімді, қолжетімді құрал екенімен келісіп, сабақтарда жиі қолданылуын сұрады. Зерттеу нәтижесі Geogebra бағдарламасының салу есептері тақырыбында оқушылардың білім деңгейін, тақырыпты меңгеруін, іс-тәжірибеде қолдану сапасын арттыратынын көрсетті. Және «келіспеймін», «мүлдем келіспеймін» жауаптары мүлдем таңдалмаған. Geogebra бағдарламасын қолданып өткізген сабақтарда оқушылардың қызығушылығының жоғарғы деңгейде болғанын атап кетпесе болмайды. Сонымен қатар, олар қосымша ақпараттарды ізденуде, өңдеуде және бір-бірімен бөлісуде өте белсенді болды.

Қорытынды

Математиканы оқу мен оқыту тек теориялық мәселелерге негізделмей, оқушылардың математикаға деген қызығушылығын оятуға көмектесетін оқу құралдарын пайдалануды көздейтін оқытудың әртүрлі тәсілдеріне бағытталуы керек. Қазіргі кезде мұғалімнің оқушыларға сапалы білім беруі үшін нарықта немесе интернетте тегін қол жетімді математикалық бағдарламалық жасақтар жеткілікті көп. Бұл мұғалімнің білім беруін жеңілдетеді. Дегенмен, басқа оқу құралдарын әзірлеуге қосымша уақыт бөлмей-ақ, бар материалдарды пайдалану мұғалімнің қолында.

Қорытындылай келе, 7-сыныптың геометрия пәнінен салу есептерін оқытуда Geogebra бағдарламасының оқушылардың оқу үлгеріміне, сабақты түсінуіне және қабылдауына әсері оң болғанын анықтадық. Оқушылардың Geogebra бағдарламалық құралына ынта, сенімділік және мотивация тұрғысынан жақсы пікірде болғанына көз жеткіздік. Сондықтан, мектеп мұғалімдеріне 7 сыныпта Салу есептерін өту барысында Geogebra бағдарламасын қолданып, сабақ өтуді ұсынамыз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Далингер В.А. Компьютерные технологии в обучении геометрии // Информатика и образование, 2002, №8, с.71-77.
- 2 Jackiw, N.: 1991, *The geometer's sketchpad (computer software)*, Key Curriculum Press, Berkeley, CA.
- 3 Дубровский В.А. 1С: Математический конструктор // Математика, 2009, №13, с.1-12.
- 4 Шабанова М.В., Ширикова Т.С. Обучение доказательству с использованием интерактивной геометрической среды // Ярославский педагогический вестник, 2012, № 3, Том II (Психолого –педагогические науки), с.86-92.
- 5 Шабат Г.Б. «Живая Математика» и математический эксперимент // Вопросы образования, 2005, Вып. 4, с. 156-165.
- 6 E. Sudihartinih, dan T Purniati. Using Geogebra to develop students understanding on circle Concept // Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol.1157, p. 1-7.
- 7 Nazihatulhasanah A., Nurbiha A. S. The effects of Geogebra on students achievement // Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015, Vol.172, p. 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.356>
- 8 Zhang Y., Wang P., Jia W., Zhang A., Chen G. Dynamic visualization by Geogebra for mathematics learning: a meta-analysis of 20 years of research// Journal of Research on Technology in Education, august 2023. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>
- 9 Шыныбеков А.Н., Шыныбеков Д. 7 сынып геометрия. – 2015, Баспа: Атамұра.
- 10 Wuensch, Karl L. (October 4, 2005). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'». East Carolina University. Retrieved April 30, 2009.

References:

- 1 Dalinger V.A. (2002) *Komp'yuternye tehnologii v obuchenii geometrii [Computer technologies in teaching geometry]. Informatika i obrazovanie, №8, 71-77. (In Russian)*
- 2 Jackiw, N.: 1991, *The geometer's sketchpad (computer software)*, Key Curriculum Press, Berkeley, CA
- 3 Dubrovskij V.A. (2009) *1S: Matematicheskij konstruktor [Mathematical constructor]. Matematika, №13, 1-12. (In Russian)*
- 4 Shabanova M.V., Shirikova T.S. (2012) *Obuchenie dokazatel'stvu s ispol'zovaniem interaktivnoj geometricheskoj sredy [Teaching proof using an interactive geometry environment]. Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik, № 3, Tom II (Psihologo –pedagogicheskie nauki), 86-92. (In Russian)*
- 5 Shabat G.B. (2005) «Zhivaja Matematika» i matematicheskij jeksperiment ["Live Mathematics" and mathematical experiment]. *Voprosy obrazovaniya, Vyp. 4, 156-165. (In Russian)*
- 6 E Sudihartinih, dan T Purniati. Using Geogebra to develop students understanding on circle Concept // Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol.1157, p. 1-7.
- 7 Nazihatulhasanah A., Nurbiha A. S. The effects of Geogebra on students achievement // Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015, Vol.172, p. 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.356>
- 8 Zhang Y., Wang P., Jia W., Zhang A., Chen G. Dynamic visualization by Geogebra for mathematics learning: a meta-analysis of 20 years of research// Journal of Research on Technology in Education, august 2023. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>
- 9 Shynybekov A.N., Shynybekov D. (2015) *7 synyp geometrija [7th grade geometry]. Baspa: Atamұra. (In Kazakh)*
- 10 Wuensch, Karl L. (October 4, 2005). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'». East Carolina University. Retrieved April 30, 2009.

С.Ж. Зыкрина

Физика-математикалық бағыттағы Назарбаев Зияткерлік мектебі, Көкшетау қ., Қазақстан
*e-mail: szykrina@gmail.com

ҚҰРЫЛЫМДАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІ ШЫҒАРУДЫҢ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ДАҒДЫЛАРЫН ДАМУҒА ӘСЕРІ

Аңдатпа

Оқушылардың математикалық сауаттылығы мен зерттеушілік дағдыларын дамыту үшін есеп мәтінінде берілген ақпаратты түсіну, оны талдай отырып, есепті шығару кезеңдерін құрылымдауға баулудың маңызы өте зор. Осы жағдайлар зерттеудің мақсатын айқындап, міндеттерін нақтылауға жол ашты. Зерттеу мақсаты – математика сабағында құрылымдалған есептерді шығарудың оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамытуға әсерін бағалау. Зерттеушілік дағдыларды дамытуда көптеген әдістемелер мен құралдар ішінен құрылымдалған есептерді шығару тәсілі таңдалды. Зерттеудің болжамы бойынша құрылымдалған есептерді шығару барысында оқушылар ізделінді ақпаратты сатылай іздеу арқылы ақпаратты жүйелеуге жол ашады. Ал оқушыларды есептерді өз бетінше құрылымдауға қатыстыру олардың ақпаратты талдау дағдыларын дамытады. Зерттеу мақсатына жету үшін келесі зерттеу міндеттері айқындалды: зерттеушілік дағдыларды дамытуға бағытталған әдістерді қолдану әсерін бағалау; сабақтар сериясын өткізіп, оқушылардың біліміне сапалы талдау жасау; ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамыту бойынша мұғалімдердің қызметін ұйымдастыру бойынша ұсыныстар әзірлеу. Зерттеу барысында осы бағытта жасалған зерттеулер талданып, ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамыту алғышарттары болып саналатын әдістердің тізімі анықталды. Құрылымдалған есептердің классификациясы дайындалып, практика жүзінде қолданылды.

Түйін сөздер: математиканы оқыту, дағдыларды дамыту, интернет-технологиялар, құрылымдалған есептер

Аннотация

С.Ж. Зыкрина

Назарбаев Интеллектуальная школа физико-математического направления, г. Кокшетау, Казахстан

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ НА РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ

Для развития у учащихся математической грамотности и исследовательских навыков очень важно понимать информацию, изложенную в тексте задачи, анализировать ее, уметь структурировать этапы решения задачи. В связи с этим были определены цель и задачи данного исследования. Цель исследования – оценить влияние структурированных задач на развитие у учащихся навыков анализа и систематизации информации. При развитии исследовательских навыков метод подготовки структурированных задач был выбран из множества методов и инструментов. В процессе составления задач, структурированных в соответствии с исследовательской гипотезой, учащиеся получают возможность к систематизации информации путем пошагового поиска необходимой информации. А вовлечение учащихся в самостоятельное структурирование задач развивает у них навыки анализа информации. Для достижения цели исследования были определены следующие исследовательские задачи: оценка эффекта от использования методов, направленных на развитие исследовательских навыков; проведение серии занятий и качественного анализа знаний учащихся; разработка предложений по организации деятельности учителей по развитию навыков анализа и систематизации информации. В ходе исследования были проанализированы исследования, проведенные в этом направлении, и определен перечень методов, которые считаются предпосылками для развития навыков анализа и систематизации информации. Подготовлена и использована на практике классификация структурированных задач.

Ключевые слова: математическое образование, развитие навыков, интернет-технологии, структурированные задачи.

Abstract

IMPACT OF STRUCTURED ASSIGNMENTS ON THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' RESEARCH SKILLS

Zykrina S.

Nazarbayev Intellectual School of Physics and Mathematics, Kokshetau, Kazakhstan

For the development of mathematical literacy and research skills of students, it is very important to understand the information contained in the text of the problem, analyze it, and be able to structure the stages of solving the problem. In

this regard, the purpose and objectives of this study were determined. The purpose of the study is to evaluate the impact of structured tasks on the development of students' skills in analyzing and systematizing information. In developing research skills, the method of preparing structured problems was chosen from a variety of methods and tools. In the process of compiling tasks structured in accordance with the research hypothesis, students get the opportunity to systematize information by step-by-step search for the necessary information. And involving students in independent structuring of tasks develops their information analysis skills. To achieve the goal of the study, the following research tasks were identified: assessment of the effect of using methods aimed at developing research skills; conducting a series of classes and qualitative analysis of students' knowledge; development of proposals for organizing the activities of teachers to develop the skills of analyzing and systematizing information. During the study, studies conducted in this direction were analyzed, and a list of methods was determined that are considered prerequisites for developing skills in analyzing and systematizing information. A classification of structured tasks has been prepared and used in practice.

Keywords: mathematical education, skill development, Internet technologies, structured tasks.

Кіріспе

Оқушылардың математикалық сауаттылығын зерттеу 2021 жылғы PISA зерттеуінің басым бағыты болып айқындалды. PISA-2021 зерттеуінің анықтамасы бойынша: «Математикалық сауаттылық – адамның математикалық ойлау, математиканы тұжырымдау, қолдану және әртүрлі практикалық контексттерде есептерді шешу үшін түсіндіру қабілеті. Ол ұғымдарды, процедураларды және фактілерді, сондай-ақ құбылыстарды сипаттауға, түсіндіруге және болжауға арналған құралдарды қамтиды. Ол адамдарға математиканың әлемдегі ролін түсінуге, жақсы негізделген пайымдаулар жасауға және 21 ғасырда сындарлы, белсенді және рефлексивті азаматтар қабылдауы керек шешімдер қабылдауға көмектеседі» [1, 12 б]. Математика сабақтарында берілген есептердің контекстін түсініп, тиімді шығару тәсілін анықтау үшін оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдылары берік дамуы тиіс. Ш.Рахмет және басқалардың пікірінше, математиканы оқып-үйрену есеп шығаруды білу үшін ғана емес, адам өміріндегі алдымыздан шығатын кез келген мәселелерді дұрыс шеше білуге және оқушының қабілеттерін жан-жақты жетілдіру үшін қажет [2, 143 б]. Ал М.М.Слямханның пікірінше, оқытудың сапасы көбінесе мұғалімдердің мектеп оқушылары мен студенттерде оқытудың когнитивтік үлгілерін қалыптастыру қабілетіне байланысты [3, 208 б]. Сондықтан, оқушылардың математикалық сауаттылығын қалыптастыруда олардың зерттеушілік дағдыларының дамуына жағдай жасау маңызды шарттардың бірі болып табылады.

Қазіргі уақытта мұғалімге оқушылардың талдау және жүйелеу дағдыларын қалыптастыру бойынша әдістемелік жұмыс жүйесін құруға көмектесетін жеткілікті тәжірибе мен көптеген нақты материалдар жинақталған.

Дж. Брунер [4, 105 б.], Б. Рогофф [5, 54 б.] және Г.Вигингстің [6, 141 б.] еңбектерінде оқушылардың танымдық және тілдік қабілеттерін дамытуда ойындар мен оқытудың түрлі әдіс-тәсілдері мен әдістерінің ролі қарастырылды.

М.Д. Даммердің пікірінше, «оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамыту үшін оқушылардың оқу үдерісінің белсенді қатысушысы болуы өте маңызды. Білім мен дағдыны жүйелеудің негізгі міндеттері – оқушылардың жетістіктері мен жетістіктерін ашу; білім, білік дағдыларын жетілдіру, тереңдету жолдарын көрсетуде, осылайша мектеп оқушыларын кейіннен белсенді шығармашылық әрекетке қосуға жағдай жасалады» [7, 78 б.].

«Бұл міндеттер ең алдымен оқушылардың оқу материалын меңгеру сапасын – математикадан бағдарламада қарастырылған білім, білік, дағдыларды меңгеру деңгейін анықтауға байланысты. Екіншіден, бұл жүйелеу міндеттерін нақтылау мектеп оқушыларын өзара жүйелеу және өзін-өзі жүйелеу әдістеріне үйретумен, өзін-өзі бақылау және өзара бақылау қажеттілігін қалыптастырумен байланысты. Үшіншіден, бұл міндеттер оқушыларды орындаған жұмысқа жауапкершілік, бастамашылық таныту сияқты тұлғалық қасиеттерді тәрбиелеуді көздейді» [7, 79 б.].

В.А.Далингердің пікірінше, «оқушылардың білімдерін жүйелеу тек жүйелі қайталау негізінде өз мақсатына жетеді» [8, 92 б.]. Н.М.Назарова сабақты құрудың реттілігін сипаттап, оған білімді жалпылау және жүйелеу сабағы заманауи атауын берген [9, 47 б.]. Автор мұндай сабақтардың келесі кезеңдерін анықтады:

- сабақтың тақырыбын, мақсатын, міндеттерін және оқу әрекетінің мотивациясын жеткізу;
- негізгі білімді жаңғырту және түзету;
- негізгі фактілерді, оқиғаларды, құбылыстарды қайталау және талдау;
- ұғымдарды қайталау, жалпылау және жүйелеу, сәйкес білім жүйесін, жетекші идеялар мен негізгі теорияларды меңгеру [9, 50 б.].

Утеева Р. және басқалардың зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бірдей бастапқы позицияларға ие бола отырып, оқушылар математикадан оқып жатқан материалды әртүрлі тәсілдермен меңгереді. Сондықтан мұғалім оқушыларды материалды меңгерудің жоғары деңгейіне жеткізу үшін әртүрлі тапсырмалар мен оқыту әдістерін таңдап алып, оларға қолдау көрсету жолдарын ойластыруы қажет болады [10, 80 б.].

Л.С. Выготский [11, 212 б.] оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамытудағы мәліметтерді құрылымдап ұсынудың айтарлықтай роль атқаратынын атап өткен. Оқушылардың талдау және жүйелеу дағдыларын дамытуда құрылымдалған есептерді қолдану Дж. Беккердің [12, 14 б.], Г. Скобелевтің [13, 17 б.], Дж. Стиглердің [14, 17 б.], Б.Риттл-Джонсонның [15, 173 б.] зерттеулерінде де қарастырылған.

Н.Ханли және басқалардың зерттеуі бойынша, мектеп оқушыларының функционалдық сауаттылығын дамытумен айналысатын мұғалімдерге арналған әдістемелік ұсыныстардың сипаттамасы берілетін зерттеулер шектеулі екендігін ескерер болсақ [16, 23 б.], осы жағдайлар оқушылардың зерттеушілік дағдыларын дамытуда құрылымдалған есептерді қолдану арқылы нақты зерттеу әдіснамасын айқындап, оқушылардың есеп алгоритмімен жұмыс жасауына мән берудің маңыздылығын көрсетті.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеулерге сүйене отырып, зерттеу міндеттеріне сәйкес келесі әдіснама айқындалды:

1. Оқушыларды критериалды бағалау принциптеріне сәйкес, сабақтың мақсатын және оның нәтижелерін құруға қатыстыру. Оқушылардың сабақтың мақсаттары мен нәтижелерін құруға қатысуы олардың бойына процесс үшін жауапкершілік сезімін ұялатады.

2. Өткен тақырып есептерін пысықтау. Қайталау тапсырмаларын орындау оқушылардың бұған дейін игерілген білімдерін жүйелеп, «жақын даму аймағын» айқындауға мүмкіндік береді.

3. Өтілген материал мен жаңа ұғымдарды қамтитын құрылымдалған есептерді ұсыну.

Сабақтың нәтижелілігі мақсат қоюға тікелей байланысты. Мақсат қою бағалаудың құрамдас бөлігі болып табылады. Бұл басымдықтарды анықтауға, шешім қабылдауға және істерді орындауға көмектеседі. Мақсаттар неғұрлым айқын болса, бағалау соғұрлым тиімді және нақты болады. Оқушылардың сабақтың мақсаты мен нәтижелерін тұжырымдауға қатысуы олардың бойында процеске деген жауапкершілік сезімін оятады. Сондықтан әр сабақ сайын оқушылардың осы үдеріске белсенді қатысуы қадағаланды.

Өткен тақырыпты қайталау құралы ретінде түрлі интернет-технологиялары қолданылды. Себебі интернет-технологияларды қолдану оқушылардың білімін тексеру барысын автоматтандыруға мүмкіндік береді. Ол үшін [plickers.com](https://www.plickers.com), [kahoot.com](https://www.kahoot.com), [quizizz.com](https://www.quizizz.com) сайттарында дайындалған викториналар қолданылды. Бұл викториналар оқушылардың өткен тақырып бойынша білімдерін пысықтауға мүмкіндік берумен қатар, сабаққа қызығушылығын оятуға жол ашады. Сонымен қатар, сұрақтарға берілген жауаптардың онлайн есебі, оқушылардың қандай сұрақтарға жауап беруде қиналғанын көрсетеді.

Мысалы, 8-сыныпта «Квадрат теңдеулер көмегімен мәтіндік есептерді шығару» тақырыбы бойынша өткізілген тест нәтижелері бойынша оқушылардың тізбектеле орналасқан сандардың ерекшелігін ескеруде қателесетінін және геометриялық мағынасы бар есептердің математикалық моделін құруда қиналатынын 1-суреттен байқауға болады.

Сондықтан, тест нәтижелері оқушылардың біліміндегі олқылықтарды уақытылы айқындап, сабақ барысында уақытылы көмек көрсетуге мүмкіндік беретініне көз жеткізуге болады.

Әдіснама бойынша, сабақтың негізгі бөлімінде құрылымдалған есептер шығару жүзеге асырылды. Құрылымдалған есеп – барлық элементтері және олардың арасындағы байланыстар белгілі болатын есеп. Құрылымдалған есептің мазмұнын нақты шешу алгоритмі бар математикалық модель түрінде көрсетуге болады. Құрылымдалған есептер оқушыларға есеп мәтінінде берілген ақпаратты талдау арқылы есепті шығару алгоритмін қорытуға жағдай жасайды.

Құрылымдалған есептер құрамында бірнеше тапсырмалардың тұратындықтан, тапсырмалардың бір-бірінен тәуелділігіне сәйкес екі түрге бөлінеді.

Бірінші жағдайда есеп құрылымындағы тапсырмалар бір-бірінен тәуелсіз болуы мүмкін. Мұндай жағдайда бастапқы тапсырмалардың жауаптары кейінгі тапсырмалардың жауаптарына әсер етпейді.

Мысалы: $y = \frac{x^2 + 5x + 2}{x - 2}$ функциясы берілген.

- 1) Функция асимптоталарын табыңыз.
- 2) $\frac{dy}{dx}$ табыңыз.

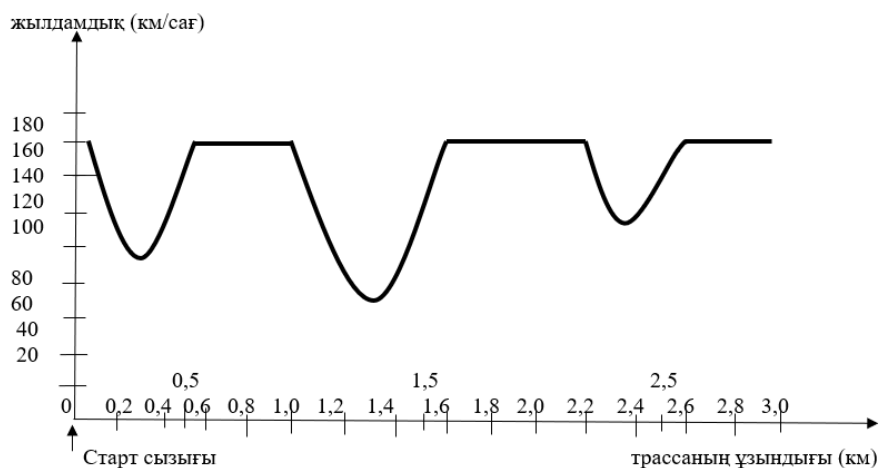


Сурет 1. Оқушылардың тест сұрақтарына жауап беру сапасы

Берілген есептің құрылымындағы тапсырмалардың жауаптары бір-бірінен тәуелсіз. Сондықтан оқушының функция бойынша тек нақты сұрақтарға жауап беруін талап етеді. Мұндай тапсырманы құрастыру өте жеңіл. Және оқушы тапсырмалардың қайсыбірін дұрыс орындаған болса, сол нәтижесіне сәйкес өз ұпайын ала алады.

Бұл типтегі құрылымдалған есептер PISA халықтаралық зерттеуінде жиі қолданылады. Мысалы, жарыс машинасының жылдамдығына берілген есепті қарастырайық [1, 52 б.]:

Графикте (2-сурет) жарыс машинасының еш кедергісіз үш километрлік сақина түріндегі трассада екінші айналымды жасауы барысындағы жылдамдығы қалай өзгергені көрсетілген.



Сурет 2. Ұзындығы 3 км болатын трассадағы жарыс машинасының жылдамдығы (екінші айналым барысында)

1 сұрақ. Старт сызығынан трассаның ең ұзын тіктөртбұрышты участогына дейінгі ара қашықтық неге тең?

- A 0,5 км B 1,5 км C 2,3 км D 2,6 км

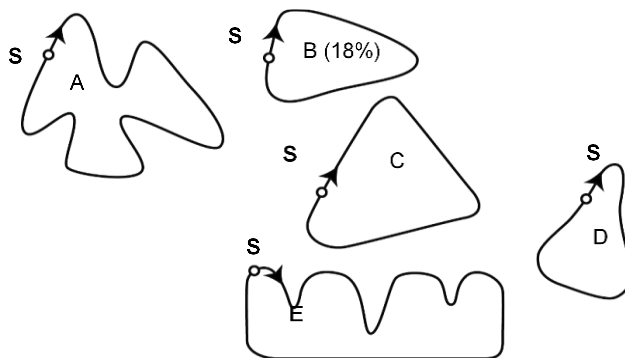
2 сұрақ. Екінші айналымды өту барысында трассаның қай жерінде машинаның жылдамдығы ең кіші болды?

- A Старт сызығында.
- B Шамамен 0,8 км белгісінде
- C Шамамен 1,3 км белгісінде
- D Шамамен трасса ортасында

3 сұрақ. 2,6 км және 2,8 км белгілері арасындағы трасса бөлігінен өткендегі машинаның жылдамдығы туралы не айтуға болады?

- A Машина жылдамдығы тұрақты болды.
- B Машина жылдамдығы өсті.
- C Машина жылдамдығы кеміді.
- D Берілген график бойынша машина жылдамдығының өзгерісін сипаттау мүмкін емес.

4 сұрақ. 3-суретте жарыс трассаларының бес түрлі формасы келтірілген. Жылдамдық графигі жоғарыда берілген жарыс машинасы осы трассалардың қайсысымен жүрді? Мұндағы S – старт сызығы.



Сурет 3 - Трассалардың формасы

Есеп сұрағына назар аударатын болсақ, тапсырмаларға жауап беру нәтижелері бір-бірінен тәуелсіз екендігін байқаймыз. Яғни әр сұрақтың жауабы басқа сұрақ жауаптарынан тәуелсіз, жеке бағаланады.

Екінші жағдайда есеп құрылымындағы тапсырмалар бір-бірінен тәуелді болуы мүмкін. Мұндай жағдайда бастапқы тапсырмалардың жауаптары кейінгі тапсырмалардың жауаптарына әсер етеді, сондықтан бірінші тапсырманы қате орындаған жағдайда оқушы есепті шығару әдісін жақсы білгенімен, қате жауап алады. Мысалы 8-сынып оқу бағдарламасынан келесі есепті қарастырайық:

$y = -x^2 + 2x + 3$ функциясы берілген.

- а) парабола төбесінің координаталарын табыңыз;
- б) абсцисса және ордината осьтерімен қиылысу нүктелерін табыңыз;
- с) графигін салыңыз.

Егер тапсырма тек «Функция графигін салыңыз» деп берілетін болса, оқушы кесте арқылы функция мәндерін анықтап, нүктелерді координаталық жазықтықта бейнелесе де қате болып саналмайды. Себебі графикті салудың әдісі нақтыланбаған болар еді. Ал жоғарыдағы есепте, оқушыға нақты қадамдар берілген. Есепті шығару барысында оқушы бірінші тапсырмада парабола төбесін дұрыс таппаған болса, нәтижеде ол мүлдем қате график салуы мүмкін. Сондықтан мұндай тапсырмаларды орындау оқушының мұқияттылығын талап етеді. Және әр қадамдағы қате оқушының бағалау нәтижесіне де әсер етеді.

Екінші түрдегі тапсырмаларды шығару барысында оқушылар қадамдар арасындағы байланыстың маңыздылығын түсінеді және есепті зерттейді. Дегенмен, мұғалім жүйелі жұмыс жасамаса, бұл есепті шығару барысында, оқушы тапсырмаларды орындай отырып, функцияның графигін салуды жүзеге асырғанымен, алгоритм толықтай мұғаліммен берілгендіктен тек репродуктивті жұмыс орындайды. Сондықтан мұндай тапсырмаларды жаңа сабақты түсіндіру үшін ұсыну тиімді. Осындай тапсырмаларды орындағаннан кейін аталған қадамдарды алгоритм түрінде қорытуға мүмкіндік берсе, оқушы квадраттық функцияның графигін кескіндеудің құрылымын өз бетінше ұғына алады және дұрыс қорытындылар жасайды.

Тапсырмаларды құрылымдау қарапайым және күрделі түрде жасалуы мүмкін.

Қарапайым түрде құрылымдауда негізгі тапсырмадан бір ғана тармақ жасалады. Мысалы, Назарбаев Зияткерлік мектептерінде 12-сыныпта ұйымдастырылатын халықаралық емтихан форматындағы келесі есепті қарастырайық:

$(1+x)^{\frac{1}{3}}$ өрнегінің x^2 -қа дейінгі биномиалдық жіктеуін көрсетіңіз:

a) $(8+3x)^{\frac{1}{3}} \approx 2 + \frac{1}{4}x - \frac{1}{32}x^2$ - x -тің үлкен емес мәндеріне орындалатынын көрсетіңіз.

b) $\sqrt[3]{9} \approx \frac{599}{288}$ дәлелдеңіз.

Бұл есепте есептің негізгі берілісі бойынша екі тапсырма құрылымдалған және олар өзара тәуелді болып табылады. Тапсырмалар ары қарай құрылымдалмайтындықтан, қарапайым түрде құрылымдалған болып табылады.

Күрделі түрде құрылымдауда негізгі тапсырмадан шығатын тармақтар да ары қарай тапсырмаларға тармақталады. Мысалы: Тапсырмаларды орындаңыз:

a) Виет теоремасы арқылы квадрат үшмүшені көбейткіштерге жіктеңіз:

$$x^2 + 3x - 10$$

b) Бөлшек берілген:

$$\frac{x^2 + 3x - 10}{2x - 4}$$

- 1) Бөлшектің алымы мен бөлімін көбейткіштерге жіктеңіз;
- 2) Бөлшекті қысқартыңыз;
- 3) Қысқартылған бөлшек бойынша өрнектің мәнін табыңыз: $x_1 = 3, x_2 = 7, x_3 = 3979$.

Бұл тапсырмада есептің бірінші тапсырмасы қарапайым түрде, ал екінші тапсырмасы күрделі түрде құрылымдалған. Себебі бұл тапсырмадан басқа да тапсырма тармақтары тарайды.

Жоғарыда берілген тапсырма дескрипторлары оқушылармен келесідей тұжырымдалды:

- Квадрат үшмүшені көбейткіштерге жіктейді;
- Бөлшек бөлімін түрлендіреді;
- Бөлшекті қысқартады;
- Өрнектің мәнін табады.

Жұмыс нәтижесінде бағалау дескрипторларын құрастыру оқушыларға есепті шығару алгоритмін қорытып, ол келесі түрде тұжырымдалды:

1. Бөлшектің алымын көбейткіштерге жіктеу;
2. Бөлшектің бөлімін көбейткіштерге жіктеу;
3. Бірдей көбейткіштерді қысқарту.

Осылайша құрылымдалған есептер оқушыларға жаңа тақырыпты түсінуге, берілген ақпаратты талдап, жүйелеуге жол ашады.

Нәтижелері және талқылау

Зерттеу эксперименті 8-сынып оқушылары арасында Қазақстандық білім беру саласындағы зерттеушілер қоғамы (KERA) хатшылығының отырысында мақұлданған ҚР Білім беру зерттеушілерінің Этика кодексіне сәйкес өткізілді.

Оқушылардың талдау және жүйелеу дағдыларының дамуын бағалау үшін пәндік спецификаға сәйкес келесі индикаторлар анықталды:

- есеп шартындағы негізгі мәліметтерді бөліп алу;
- есеп алгоритмін құру;
- есепті шешудің негізгі кезеңдерін ұстану;
- есеп сұрағына жауап беру.

Зерттеу 8-сынып математикасының «Бүтін-рационал теңдеулер және теңсіздіктер» тарауын қамтыды. Оқушылардан бастапқы білім негіздерін айқындау мақсатында кіріспе сауалнама алынып, сабақтар сериясы барысындағы білім сапасын диагностикалау үшін қалыптастырушы бағалаулар жүргізілді, бастапқы және қорытынды тест алынды.

Зерттеу барысындағы кіріспе сауалнама орта буын оқушыларының есеп мәтініндегі берілген ақпаратты түсіну қабілеттерінің қалыптасуын анықтау мақсатында жүргізілді. Сауалнамаға 100 оқушы

қатыстырылды. Сауалнамаға қатысқан 8-сынып оқушылары 7-сыныпта Covid-19 індетінің тарауының алдын алу үшін ұйымдастырылған карантиндік жағдайларға байланысты оқу жылын онлайн форматта өткізгенін ескеру керек.

Сынақталған оқушылардың 50%-ы математика сабақтарын түсінікті, 25%-ы қызықты, 17%-ы өте қызықты, 8%-ы күрделі деп есептейтіні анықталды. Сауалнама нәтижелері оқушылардың 42% есептің математикалық моделін жасауда қиналатынын анықтады. Сонымен бірге оқушылардың 58% есеп мәтінінде берілген ақпарат бойынша есепті шығару кезеңдерін құрылымдауда қиналатынын атап өтеді. Осы қиындықтармен жұмыс барысында есеп дескрипторларының және мұғалімнің кері байланысының әсері де бағаланды. Оқушылардың 83%-ы дескрипторлардың есеп мәтінін түсінуде тиімді және өте тиімді екенін көрсетеді, ал қалған 17%-ы кейде көмектесетінін жазған. Мұғалімнің кері байланысының есеп мәтінін түсінуге әсері туралы оқушылардың 50%-ы кері байланыстың кейде ғана көмектесетінін, 25%-ы тиімді және 8%-ы өте тиімді болатынын, 17%-ы көмектеспейтінін атап өткен. Бұл сауалнама нәтижесі бойынша оқушылардың есеп мәтінін түсінуде мұғалімнің түсіндіруінен гөрі дескрипторлармен жұмыс жасауды көбірек қалайтыны байқалды. Бұл жағдайды онлайн оқыту кезінде оқушылардың өз бетінше жұмыс жасауға көбірек дағдылануымен және есептің бағалау дескрипторларын қолдануды жетік меңгерулерімен байланыстыруға болады. Сондықтан есеп мәтінін дескрипторларға сәйкес құрылымдау әдісі оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларына оңтайлы әсер беретінін болжауға болады.

Зерттеу барысында оқушыларға құрылымдалған есептердің қарапайым және күрделі, құрылымы тәуелді және тәуелсіз түрлері ұсынылды. Есептер жаңа тақырып материалын ұсынуда есеп алгоритмін қорыту үшін қолданылып, кейінгі сабақтарда оқушыларға есепті өз беттерінше құрылымдауға тапсырмалар беріліп отырды. Құрылымдалған есептерді ұсынуда оқушылардың бағалау дескрипторларын өз бетінше құрастыруына ерекше мән беріліп отырды. Себебі, есепті бағалау дескрипторларын білу оқушыларды өзін-өзі объективті бағалауға және есеп сұрағына дұрыс жауап табуына көмектеседі. Зерттеу барысындағы оқушылардың бастапқы және қорытынды бақылау нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Оқушылардың білім көрсеткіштерінің динамикасы

Қалыптастырушы бағалау	Білім дағдыларының деңгейі		
	Төмен	Орташа	Жоғары
Кіріспе	4	5	3
Қорытынды	3	5	4

Оқушылардың білім көрсеткіштерінің динамикасы қалыпты үлестірілген деп алып, 5% сенімділік деңгейінде жаңа әдістеменің оқушылардың орташа бағасын жоғарылатуға әсері статистикалық гипотезаларды тексеру есебінде тексерілді. Нольдік (H_0) және альтернативті (H_1) гипотезалар келесі түрде тұжырымдалады:

$H_0: \mu = 3,92$. Оқушылардың орташа бағасы 3,92-ге тең.

$H_1: \mu > 3,92$. Жаңа әдістемені қолдану оқушылардың орташа бағасын жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Осылайша, біржақты тексеру орындалды. $\Phi(z) = 0,95$ болғандықтан, $z = 1,645$ болады. Оқушылардың қорытынды нәтижелері бойынша $\bar{x} = 4,16, n = 12, \sigma = 0,7265$ анықталады.

Бұдан $z_1 = \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} = 0,6989$ болатынын алынды. Нәтижесінде z_1 мәні $z = 1,645 < 1,7289$ шарты орындалатындықтан альтернативті гипотезаның қабылдану аймағына енгенін байқауға болады.

Осылайша зерттеу гипотезасы орындалатынына көз жеткізілді. Олай болса, қолданылған әдістеме оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамытуға оң әсер береді.

Қорытынды

Зерттеу барысында математиканы оқытуда оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамыту әдіснамасын пайдаланудың келесі артықшылықтары анықталды:

1. Оқушылардың оқу нәтижелерін қалыптастыру және тапсырмаларға арналған дескрипторларды құру үдерісіне қатысуы, оқушылардың жауапкершілігін дамытуға және орындалған іс-әрекеттерді түсінуге әсер етеді.

2. Оқушылардың жаңа тақырыпты игеру алдында бұған дейін қаралған материалдарды пысықтау үдерісіне қатысуы білімдерді жүйелей отырып, оқушылардың біліміндегі олқылықтарды уақытылы анықтауға және түзетуге жағдай жасай отырып, «жақын даму аймағында» жұмыс жасауға мүмкіндік береді.

3. Тапсырманы дескрипторларға сүйене отырып бағалау, оқушылардың көзқарастарын дәлелдеуді дамытуға ықпал етеді.

4. Тапсырманы құрылымдау есеп мәтінін құрамдас бөліктеге жіктеу арқылы түсініп, талдауға және есеп алгоритмін игеруге жол ашады.

Зерттеу аясында өткен сабақтар сериясы құрылымдалған есептерді қолдану арқылы оқушылардың талдау және жүйелеу дағдыларын дамыту мақсатын ұстанып, алдын ала анықталған индикаторлар бойынша келесі қорытындылар жасалды:

- оқушылардың барлығы есеп шартындағы негізгі мәліметтерді бөліп алу, есеп
- алгоритмін құру дағдыларының жақсы қалыптасқанын көрсетті;
- оқушылардың көп бөлігі есепті шешудің негізгі кезеңдерін ұстану, есеп сұрағына жауап беру дағдыларын көрсетті.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, оқушылардың ақпаратты талдау және жүйелеу дағдыларын дамытуға бағытталған келесі ұсыныстар жасалды:

- оқушылардың оқу үдерісіндегі белсенділігін арттыру үшін сабақтың мақсаты мен жетістік критерийлерін тұжырымдауға қатыстыру;
- қайталау және пысықтау тапсырмалары арқылы оқушылардың «жақын даму аймағында» жұмыс жасауына жағдай жасау;
- оқушылардың ақпаратты талдау дағдыларын дамыту үшін ақпаратты жинақтау және жүйелеу үдерісіне қатыстыру;
- оқушылардың жүйелеу дағдыларын дамыту үшін тапсырмаларды құрылымдауды қолдану;
- оқушылардың пәнге қызығушылығын қалыптастыру үшін практикалық мазмұнды тапсырмалар көмегімен пән аралық байланыс орнату.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Кагазбаева А.К. Методика конструирования тестовых заданий по математике в контексте с международными исследованиями PISA. – Ақтобе: АО НЦПК «Өрлеу», 2015, 120 с.

2. Рахмет Ш.Т., Касенов С.Е., Қалдан С.Қ., Ануар А.И. 5-6 сынып оқушыларына арналған стандартты емес есептер бойынша элективті курсты ұйымдастырудың ерекшеліктері//ҚазҰУ хабаршысы. Педагогикалық ғылымдар сериясы. - №4 (73). – Алматы, 2022. – 142-150 б. <https://elibrary.kaznu.kz/wp-content/uploads/2023/02/4-pedagogika.pdf>

3. Слямхан М.М. Білім алушылардың математикалық сауаттылығын жетілдіруде когнитивті әдісті қолданудың тиімділігі// Абай атындағы ҚазҰПУ-нің хабаршысы «Педагогика ғылымдары» сериясы. – №3 (75). – Алматы, 2022. – 205-213 б. <https://bulletin-pedagogy.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/1662>

4. Bruner, J., *Play: its role in development and evolution* hardcover. – New York: Basic Books, 1976, 1161 p. https://www.researchgate.net/profile/Kathy-Sylva2/publication/328486788_Play_its_role_in_development_and_evolution/links/5bd0755592851cabf26467aa/Play-its-role-in-development-and-evolution.pdf

5. Rogoff B., *Apprenticeship in thinking: cognitive development in social context*. – Oxford University Press, Reprint edition, 1991, 242 p. <https://global.oup.com/ushe/product/apprenticeship-in-thinking-9780195070033?cc=kz&lang=en&>

6. Wiggins G., McTighe J. *Understanding by design*. – Alexandria: Va. Association for Supervision and Curriculum Development, 2011. https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/siteASCD/publications/UbD_WhitePaper0312.pdf.

7. Даммер М.Д. Приёмы и средства систематизации знаний учащихся 7-8 х классов. – Диссертация на соискание степени кандидата педагогических наук. – Челябинск, 1990, 218 с.

8. Далингер В. А. Избранные вопросы школьного математического образования. – М: Флинта, 2011, 151 с.

9. Назарова Н.М. Специальная педагогика. – М., 2000, 519 с. https://www.studmed.ru/nazarova-nmred-specialnaya-pedagogika_543b878724b.html

10. Утеева Р., Есенгельдинов Б., Смирнова Т. Оценивание при дифференцированном обучении на уроках математики // Вестник КазНУ. Серия педагогических наук. – №4 (73). – Алматы, 2022. – 78-87 с. <https://bulletin-pedagogic-sc.kaznu.kz/index.php/1-ped/article/download/1622/735>

11. Vygotsky, L.S., *Collected works in 6 volumes: V.3: Problems of the development of the psyche*. – Moscow, 1983, 369 p. https://books.google.kz/books/about/The_Collected_Works_of_L_S_Vygotsky.html?id=ZzjZMml-9ZgC&redir_esc=y

12. Jerry P. Becker, Edward A. Silver, Mary Grace Kantowski, Kenneth J. Travers, and James W. Wilson. *Some Observations of Mathematics Teaching in Japanese Elementary and Junior High Schools // The Arithmetic Teacher*. – 1990. – V.38. – I.2. – 12-21 p.

13. Скобелев Г. Н. Систематизация знаний на уроках математики – Минск, 2006.

14. Stigler, J., & Hiebert, J. *Understanding and improving mathematics instruction: An overview of the TIMSS video study*. – Phi Delta Kappan, 1997. – 79(1). – 14-21 p. <https://www.jstor.org/stable/20405948>

15. Rittle-Johnson, B., Zippert, E.L., Boice, Katherine L. *The Roles of Patterning and Spatial Skills in Early Mathematics Development // Early Childhood Research Quarterly*. – 2018. – 46(1). – 166-178 p. DOI:10.1016/j.ecresq.2018.03.006. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885200617301801>

16. Ханли Н., Оспанова У.А., Баймаханбетов М.А. Развитие функциональной грамотности в школах: тематический дискурс-анализ // Вестник КазНУ. Серия педагогических наук. – №1 (70). – Алматы, 2022. 16-30 с. <https://bulletin-pedagogic-sc.kaznu.kz/index.php/1-ped/article/download/1257/684>

References:

1. Kagazbayeva A.K. (2015) *Metodika konstruirovaniya testovykh zadaniy po matematike v kontekste s mezhdunarodny`mi issledovaniyami PISA*. - Aktobe: JSC NTsPK "Orleu", 2015. - 120 p.

2. Rakhmet Sh.T., Kasenov S.E., Kaldan S.K., Anuar A.I. 5-6 synyp okushylaryna arналган standartty emes esepтер бойынша elektivti kursty uymdastyrudyn erekshelikteri. *KazUU khabarshysy. Pedagogikalyk gylymdar seriyasy* - No. 4 (73). - Almaty, 2022. - 142-150 b. <https://elibrary.kaznu.kz/wp-content/uploads/2023/02/4-pedagogika.pdf>

3. Slyamkhan M.M. Bilim alushylardyn matematikalyk sauattylygyn zhetildirude kognitivti adisti koldanudyn tiimdiligi. Abai atyndagy KazUPU-nin khabarshysy «Pedagogika gylymdary» seriyasy. - No. 3 (75). - Almaty, 2022. - 205-213 p. <https://bulletin-pedagogy.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/1662>

4. Bruner, J., *Play: its role in development and evolution* hardcover. - New York: Basic Books, 1976. - 1161 p. https://www.researchgate.net/profile/Kathy-Sylva-2/publication/328486788_Play_its_role_in_development_and_evolution/links/5bd0755592851cabf26467aa/Play-its-role-in-development-and-evolution.pdf

5. Rogoff V., *Apprenticeship in thinking: cognitive development in social context*. - Oxford University Press, Reprint edition, 1991. - 272 p. <https://global.oup.com/ushe/product/apprenticeship-in-thinking-9780195070033?cc=kz&lang=en&>

6. Wiggins G., McTighe J. *Understanding by design*. Alexandria: Va. Association for Supervision and Curriculum Development, 2008. - 140-142 p. https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/siteASCD/publications/UbD_WhitePaper0312.pdf.

7. Dummer M.D. Priyomy i sredstva sistematizacziy znanij uchashhikhysya 7-8 kh klassov. *Dissertacziya na soiskanie stepeni kandidata pedagogicheskikh nauk*. - Chelyabinsk, 1990. - 218 p.

8. Dalinger V. A. *Izbrannye voprosy shkolnogo matematicheskogo obrazovaniya*. - M: Flinta, 2011. - 151 p.

9. Nazarova N.M. *Spezialnaya pedagogika*. - M., 2000. - 519 p. https://www.studmed.ru/nazarova-nmred-specialnaya-pedagogika_543b878724b.html

10. Uteeva R., Yesengeldinov B., Smirnova T. *Evaluation in differentiated learning in mathematics lessons // Bulletin of KazNU. A series of pedagogical sciences*. - No. 4 (73). - Almaty, 2022. - 78-87 p. <https://bulletin-pedagogic-sc.kaznu.kz/index.php/1-ped/article/download/1622/735>

11. Vygotsky, L.S., *Collected works in 6 volumes: V.3: Problems of the development of the psyche*. - Moscow, 1983. - 369 p. https://books.google.kz/books/about/The_Collected_Works_of_L_S_Vygotsky.html?id=ZzjZMml-9ZgC&redir_esc=y

12. Jerry P. Becker, Edward A. Silver, Mary Grace Kantowski, Kenneth J. Travers, and James W. Wilson. *Some Observations of Mathematics Teaching in Japanese Elementary and Junior High Schools // The Arithmetic Teacher*. – 1990. – V.38. – I.2. – 12-21 p.m.

13. Skobelev G. N. *Sistematizacziya znanij na urokakh matematiki* - Minsk, 2006.

14. Stigler, J., & Hiebert, J. *Understanding and improving mathematics instruction: An overview of the TIMSS video study*. - Phi Delta Kappan, 1997. - 79(1). – 14-21 p.m. <https://www.jstor.org/stable/20405948>

15. Rittle-Johnson, B., Zippert, E.L., Boice, Katherine L. *The Roles of Patterning and Spatial Skills in Early Mathematics Development // Early Childhood Research Quarterly*. – 2018. – 46(1). – 166-178 p. DOI:10.1016/j.ecresq.2018.03.006. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885200617301801>

16. Hanli N., Ospanova U.A., Baimakhanbetov M.A. *Razvitie funkczional'noj gramotnosti v shkolakh: tematiceskij diskurs-analiz*. Vestnik KazNU. Seriya pedagogicheskikh nauk. - No. 1 (70). - Almaty, 2022. - 16-30 p. <https://bulletin-pedagogic-sc.kaznu.kz/index.php/1-ped/article/download/1257/684>

Б.С. Ханжарова

*Казахский Национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан
e-mail: hanzharovabayan@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ И ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДНОЙ

Аннотация

В школьном курсе изучения алгебры и начал анализа основное внимание уделяется обучению учащихся исследованию функций с помощью дифференциального исчисления, т. е. исследованию функции новым методом - методом математического анализа. Развитие функциональных представлений помогает старшеклассникам получить наглядные представления о непрерывности функции на области ее определения, научиться строить их графики. Это объясняется тем, что понятие функции широко используется в разных разделах математики, в решении различных прикладных задач. В статье рассматриваются различные приемы для исследования наибольших и наименьших значений некоторых алгебраических и трансцендентных функций без использования производной. Умение применять различные методы исследования функций может способствовать успешному усвоению элементов математического анализа, развитию исследовательских навыков, интереса учащихся к проведению научных исследований и, в целом, повысить интерес к математике.

Ключевые слова: алгебра и начала анализа, исследование функций, наибольшее и наименьшее значение, производная, методы.

Аңдатпа

Б.С. Ханжарова

Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

КЕЙБІР АЛГЕБРАЛЫҚ ЖӘНЕ ТРАНСЦЕНДЕНТТІК ФУНКЦИЯЛАРДЫ ТУЫНДЫНЫ ПАЙДАЛАНБАЙ ЗЕРТТЕУ

Мектеп алгебра және талдау бастамаларын оқыту курсына оқушылардың негізгі назары функцияларды дифференциалдық есептеулер көмегімен зерттеуге, яғни функцияны жаңа әдіспен - математикалық талдау әдісімен зерттеуге үйретуге аударылады. Функционалдық көріністерді дамыту жоғары сынып оқушыларына функцияның анықтау облысында үздіксіздігі туралы көрнекі түсініктер алуға, олардың графиктерін құруды үйренуге көмектеседі. Бұл функция ұғымының математиканың әр түрлі бөлімдерінде, түрлі қолданбалы есептерді шешуде кеңінен қолданылуына байланысты. Мақалада кейбір алгебралық және трансценденттік функциялардың ең үлкен және ең кіші мәндерін зерттеу үшін туындыны пайдаланбай әртүрлі тәсілдер қарастырылады. Функцияларды зерттеудің әртүрлі әдістерін қолдана білу математикалық талдау элементтерін ойдағыдай меңгеруге, зерттеу дағдыларын дамытуға, оқушылардың ғылыми зерттеулер жүргізуге қызығушылығын арттыруға және жалпы математикаға қызығушылықты арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: алгебра, функцияларды зерттеу, ең үлкен және ең кіші мәні, туынды, әдістер.

Abstract

STUDY OF CERTAIN ALGEBRAIC AND TRANSCENDENTAL FUNCTIONS WITHOUT THE USE OF A DERIVATIVE

Khanzharova B.S.

Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

In the school course study of algebra and the beginning of analysis, the main focus is on teaching students to study functions using differential calculus, that is, to study function by a new method - the method of mathematical analysis. The development of functional representations helps high school students get visual ideas about the continuity of a function in the area of its definition, learn to build their graphs. This is due to the fact that the concept of function is widely used in different branches of mathematics, in solving various applied problems. The paper examines various techniques for investigating the largest and smallest values of some algebraic and transcendental functions without using a derivative. The ability to apply various methods of studying functions can contribute to the successful assimilation of elements of mathematical analysis, the development of research skills, the interest of students in conducting scientific research and, in general, increase interest in mathematics.

Keywords: algebra, function study, largest and smallest value, derivative, methods.

Введение

Перед школьным учителем математики стоит задача не только обеспечить математическую подготовку учащихся, достаточную для продолжения образования, но и развивать их интеллектуально, формировать у них математический стиль мышления. Практика работы показывает, что в овладении учащимися специальными умениями, особенно при обучении началам анализа, есть определённые трудности [1,2]. Например, учащиеся не всегда могут правильно применять формулы, теоремы, правила для решения конкретной задачи, другими словами, они не могут применять знания для выполнения определённых действий; некоторые учащиеся чётко формируют достаточные условия возрастания и убывания функции, но не всегда могут на основе этого отыскать промежутки возрастания и убывания конкретной функции. Отсюда возникает задача поиска новых методов обучения решению математически задач и выработки у учащихся соответствующих умений [3,4].

В данной статье рассматривается один из подходов к обучению умениям в курсе алгебры и начал анализа, относящимся, в частности, к решению задач на нахождение наибольших и наименьших значений функции.

Методология исследования

Задачи, представленные в данной статье требуют необычных идей, заключающиеся в использовании теоремы о среднем арифметическом n положительных чисел $A = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ и геометрическом $G = \sqrt{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$ [5], оценки для суммы двух взаимно обратных положительных чисел a и $1/a : a + \frac{1}{a} \geq 2$, причем равенство возможно, если $a=1$, которая является следствием этой теоремы [6]. Также при исследовании функции на наибольшее и наименьшее значение используют метод выделения полного квадрата из квадратного трехчлена:

$$ax^2 + bx + c = a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{4ac - b^2}{4a} = a(x + m)^2 + p, \text{ где } m = \frac{b}{2a}, p = \frac{4ac - b^2}{4a} = -\frac{D}{4a};$$

и формулу сворачивания тригонометрического выражения $a\sin x + b\cos x$ с помощью специально подобранного вспомогательного угла φ :

$$a\sin x + b\cos x = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(x + \varphi) \text{ [7,8].}$$

Использование этих методов исследования дает возможность ускорить решение задачи. На решение этих задач по классическому правилу отыскания наибольшего и наименьшего значений функций с применением производной затратилось бы достаточно длительное время [9].

Методы исследования

Программа по алгебре для 10 класса в средней школе предусматривает исследования функций без использования производной до изучения элементов математического анализа. Наиболее трудным этапом исследования функций является нахождение глобальных экстремумов функций. Рассмотрим различные приемы для исследования на наибольшее и наименьшее значения некоторых алгебраических и трансцендентных функций.

Пример 1. Найти наибольшее значение функции

$$f(x) = \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \log_{\frac{1}{3}} \left(2 - \sqrt{1 + 3x - x^2} \right) \right)$$

при условии $\operatorname{arctg} \frac{x}{2\sqrt{3}} \geq \frac{\pi}{6}$;

Решение:

Найдем область определения функции из следующих условий:

$$\begin{cases} 2 - \sqrt{1 + 3x - x^2} > 0 \\ 1 + 3x - x^2 \geq 0 \\ \arctg \frac{x}{2\sqrt{3}} \geq 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 1 + 3x - x^2 < 4 \\ x^2 - 3x - 1 \leq 0 \\ \frac{x}{2\sqrt{3}} \geq \frac{1}{\sqrt{3}} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x^2 - 3x + 3 > 0 \\ x^2 - 3x - 1 \leq 0 \\ x \geq 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x \in R \\ \frac{3 - \sqrt{10}}{2} \leq x \leq \frac{3 + \sqrt{10}}{2} \\ x \geq 2 \end{cases} \Leftrightarrow 2 \leq x \leq \frac{3 + \sqrt{10}}{2};$$

$$D(f) = \left[2; \frac{3 + \sqrt{10}}{2}\right] \quad (1)$$

Рассмотрим функцию

$$\varphi(x) = \sqrt{1 + 3x - x^2} \quad (2)$$

так как $\varphi'(x) = \frac{-2x+3}{2\sqrt{1+3x-x^2}} < 0$,

$$\forall x \in \left[2; \frac{3 + \sqrt{10}}{2}\right], \text{ то } \varphi(x) \left[2; \frac{3 + \sqrt{10}}{2}\right], \text{ следовательно } \max \varphi(x) = \varphi(2) = \sqrt{3}.$$

тогда

$$2 - \sqrt{1 + 3x - x^2} \geq 2 - \sqrt{3} \quad (3)$$

Из неравенства (3) имеем

$$\log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{1 + 3x - x^2}) \leq \log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{3}) \quad (4)$$

Из (4) следует

$$f(x) = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} \log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{1 + 3x - x^2})\right) \leq \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} \log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{3})\right),$$

Прием последнее неравенство обращается в равенство обращается в равенство, тогда и только тогда, когда

$$x = 2. \text{ Значит } \max f(x) = f(2) = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} \log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{3})\right), x \in D(f)$$

$$\text{Ответ: } \max f(x) = \operatorname{tg}\left(\frac{1}{2} \log_{\frac{1}{3}}(2 - \sqrt{3})\right), x \in D(f)$$

Пример 2. Найти наименьшее значение функции

$$f(x) = 4x + \frac{9\pi^2}{x} + \sin x, \text{ при } x > 0$$

Решение: Для нахождения $\min f(x)$ $x > 0$ используем теорему о средних арифметическом и геометрическом: пусть x_1, x_2, \dots, x_n положительных числа, то

$$G = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} \leq \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = A \quad (1)$$

В силу (1)

$$\frac{4x + \frac{9\pi^2}{x}}{2} \geq \sqrt{4x \cdot \frac{9\pi^2}{x}} = 6\pi,$$

$\forall x > 0$

$$\text{Отсюда } 4x + \frac{9\pi^2}{x} \geq 12\pi, x > 0 \quad (2)$$

Тогда $f(x) \geq 12\pi + \sin x \geq 12\pi - 1$, так как $\sin x \geq -1$

Прием $f(x) \geq 12\pi - 1 \Leftrightarrow \sin x = -1 \Rightarrow x = -\frac{\pi}{2} + 2n\pi, n \in \mathbb{N}$ (т.к. $x > 0$)

$$\min f(x) = \min f(x) = 12\pi - 1 = f\left(-\frac{\pi}{2} + 2n\pi\right), n \in \mathbb{N}$$

Ответ:

$$\min f(x) = 12\pi - 1$$

$$x \in (0; +\infty)$$

Пример 3

Найти наибольшее значение функции

$$f(x) = \frac{10}{x^2 + 4\pi x + 40} + \cos x$$

Решение: область определения функции $D(f) = R = (-\infty, \infty)$

Так $x^2 + 4\pi x + 40 > 0, \forall x \in R$

Рассмотрим квадратный трехчлен:

$$x^2 + 4\pi x + 40 = (x + 2\pi)^2 - 4\pi^2 + 40 = (x + 2\pi)^2 + (40 - 4\pi^2) \geq 40 - 4\pi^2.$$

$$\text{Тогда } 0 < \frac{10}{x^2 + 4\pi x + 40} \leq \frac{10}{40 - 4\pi^2} = \frac{5}{20 - 2\pi^2}$$

$$\text{Так как } -1 \leq \cos x \leq 1, \text{ то } -1 \leq f(x) \leq 1 + \frac{5}{20 - 2\pi^2} = \frac{25 - 2\pi^2}{20 - 2\pi^2}$$

$$\max f(x) = \frac{25 - 2\pi^2}{20 - 2\pi^2} = f(2n\pi)$$

$x \in R$

$$\text{Ответ: } \max f(x) = \frac{25 - 2\pi^2}{20 - 2\pi^2} \quad x \in R$$

Пример 4.

Найти наименьшее и наибольшее значения функции

$$f(x) = \frac{3x + 1}{(3x + 1)^2 + 1}$$

Решение: Очевидно $D(f) = R$

Принимаем оценку для сумма двух, взаимно обратных неотрицательных чисел:

$$|a| + \frac{1}{|a|} \geq 2, \forall x \neq 0 \quad (1)$$

$$\text{а) если } a > 0, \text{ то } a + \frac{1}{a} \geq 2 \quad (2)$$

$$\text{б) если } a < 0, \text{ то } a + \frac{1}{a} \leq -2 \quad (3)$$

$$1) \text{ Пусть } 3x + 1 > 0 \Rightarrow x > -\frac{1}{3}$$

Тогда для $x > -\frac{1}{3}$ в силу (2)

$$3x + 1 + \frac{1}{3x + 1} \geq 2 \quad (4)$$

$$\text{Из (4) следует: } \frac{(3x+1)^2+1}{3x+1} \geq 2, x > -\frac{1}{3}$$

$$\text{Откуда } f(x) = \frac{3x+1}{(3x+1)^2+1} \leq \frac{1}{2}$$

$$\text{Причем } f(x) = \frac{1}{2} \Leftrightarrow x = 0$$

2) Пусть $x < -\frac{1}{3}$. Тогда $3x + 1 < 0$ и в силу (3)

$$3x + \frac{1}{3x+1} \leq -2 \Leftrightarrow \frac{(3x+1)^2+1}{3x+1} \leq -2; \Rightarrow f(x) = \frac{(3x+1)^2+1}{3x+1} \geq -\frac{1}{2}, \text{ причем}$$

$$f(x) = -\frac{1}{2}, \text{ тогда и только тогда, когда } x = -\frac{2}{3};$$

3) Пусть $x = -\frac{1}{3}; f(-\frac{1}{3}) = 0$

$$\text{Итак } -\frac{1}{2} \leq f(x) \leq \frac{1}{2}, x \in R \Rightarrow \min f(x) = -\frac{1}{2}; \max f(x) = \frac{1}{2} \quad x \in R$$

Ответ:

$$\min f(x) = -\frac{1}{2}; x \in R$$

$$\max f(x) = \frac{1}{2}; x \in R$$

Пример 5.

Найти наименьшее и наибольшее значения функции

$$f(x) = \sin^2 x + \cos x - \frac{1}{2}$$

Решение: $D(f) = (-\infty, \infty)$

Имеем

$$f(x) = 1 - \cos^2 x + \cos x - \frac{1}{2} = -\cos^2 x + \cos x + \frac{1}{2} \quad (1)$$

Выделим полный квадрат в квадратном трехчлене относительно $\cos x$.

Тогда

$$f(x) = -\left(\left(\cos x - \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{3}{4}\right) = \frac{3}{4} - \left(\cos x - \frac{1}{2}\right)^2 \leq \frac{3}{4} \quad (2)$$

Причем $f(x) = \frac{3}{4}$ тогда и только тогда, когда $\cos x = \frac{1}{2} \Rightarrow x = \pm \frac{\pi}{3} + 2k\pi, k \in \mathbb{Z}$

Получим: $\max f(x) = \frac{3}{4}, x \in \mathbb{R}$

Так как

$$\sin^2 x \geq 0, \cos x \geq -1, \text{ то } f(x) = \sin^2 x + \cos^2 x - \frac{1}{2} \geq -\frac{3}{2} \quad (3)$$

Значит $\min f(x) = -\frac{3}{2} = f(\pi + 2\pi), x \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{Z}$

Ответ: $\max f(x) = \frac{3}{4}; x \in \mathbb{R} \quad \min f(x) = -\frac{3}{2}, x \in \mathbb{R}$

Для решения сравнительно трудных задач необходимо и достаточно исследование, соответствующих выражений на экстремальные значения, упрощающих уравнения, неравенства, системы уравнений.

Пример 6

Решить систему уравнений

$$\begin{cases} 3\sin 3x + \cos y = -4 & (1) \\ x + y = \frac{3\pi}{2} & (2) \end{cases}$$

Решение:

Для выполнения равенства (1) необходимо и достаточно чтобы выражения $3\sin 3x, \cos y$ принимали наименьшие значения, тогда система уравнений упрощается

$$\begin{cases} 3\sin 3x = -3 \\ \cos y = -1 \\ x + y = \frac{3\pi}{2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sin 3x = -1 \\ \cos y = -1 \\ y = \frac{3\pi}{2} - x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sin 3x = -1 \\ \cos\left(\frac{3\pi}{2} - x\right) = -1 \\ y = \frac{3\pi}{2} - x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sin 3x = -1 \\ -\sin 3x = -1 \\ y = \frac{3\pi}{2} - x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sin 3x = -1 \\ \sin 3x = 1 \\ y = \frac{3\pi}{2} - x \end{cases}$$

$$\sin x = 1 \Rightarrow x = \frac{\pi}{2} + 2\pi, n \in \mathbb{Z} \quad (3)$$

Подставим (3) в уравнение $\sin 3x = -1 : \sin\left(3\left(\frac{\pi}{2} + 2n\pi\right)\right) \equiv 1, n \in \mathbb{Z}$

Значит (3) есть решение уравнение $\sin 3x = -1$.

Тогда $y = \frac{3\pi}{2} - x = \frac{3\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{2} + 2n\pi\right) = \pi - 2n\pi, n \in \mathbb{Z}$

Ответ: множество $(x; y)$, где $x = \frac{\pi}{2} + 2n\pi, y = \pi - 2n\pi$ или $\left(\frac{\pi}{2} + 2n\pi; \pi - 2n\pi\right), n \in \mathbb{Z}$

Пример 7.

Решить уравнение

$$x^2 + 1 + |x - 1| = 2|x| \quad (1)$$

Решение.

Имеем

$$x^2 - 2|x| + 1 + |x - 1| = 0 \Rightarrow (|x| - 1)^2 + |x - 1| = 0 \quad (2)$$

Так как $(|x| - 1)^2 \geq 0$, то есть $\min_{x \in \mathbb{R}} (|x| - 1)^2 = 0$ и $|x - 1| \geq 0$, значит $\min_{x \in \mathbb{R}} (|x| - 1) = 0$, то сумма нетривиальных чисел (2) равно нулю тогда и только тогда когда $(|x| - 1)^2$ и $|x - 1|$ примут значение 0, то есть одновременно наименьшие значения.

Отсюда

$$\begin{cases} (|x| - 1)^2 = 0 \\ |x - 1| = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} |x| = 1 \\ x - 1 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = \pm 1 \\ x = 1 \end{cases} \Rightarrow x = 1$$

Таким образом получили общее значение $x = 1$.

Ответ: $x = 1$

Пример 8.

Найти все a , при которых система

$$\begin{cases} x^2 + 2ax + 4a^2 - 5a + 3 \leq 4\sin y - 3\cos y \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases}$$

имеет единственное решение.

Решение: упростим тригонометрическое выражение $4\sin y - 3\cos y$ с помощью вспомогательного угла φ .

$$4\sin y - 3\cos y = \sqrt{4^2 + 3^2} \left(\frac{4}{5} \sin y - \frac{3}{5} \cos y \right) = 5(\sin y \cos \varphi - \cos y \sin \varphi), \text{ где}$$

$$\begin{cases} \cos \varphi = \frac{4}{5} \\ \sin \varphi = \frac{3}{5} \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \frac{3}{4}; \varphi = \operatorname{arctg} \frac{3}{4}; \text{ вспомогательный угол.}$$

Тогда

$$4\sin y - 3\cos y = 5\sin(y - \varphi) \quad (1)$$

Неравенство упрощается, если для его выполнения необходимо и достаточно, чтобы тригонометрическое выражение принимало наибольшее значение:

$$\max(4\sin y - 3\cos y) = 5 \quad 0 \leq y \leq 2\pi$$

Тогда имеет:

$$\begin{cases} x^2 + 2ax + 4a^2 - 5a + 3 - 5 \leq 0 \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) будет иметь единственное решение, если дискриминант квадратного трехчлена $(x^2 + 2ax + 4a^2 - 5a - 2)$ будет равен 0.

$$\begin{aligned} D_1 &= a^2 - 4a^2 + 5a + 2 = 0 \\ a_{1,2} &= \frac{5 \pm \sqrt{25 + 24}}{6} = \left[-\frac{1}{3} \right. \end{aligned}$$

$$1) \text{ Пусть } a = 2, \text{ тогда из (2)} \Rightarrow \begin{cases} x^2 + 4x + 4 \leq 0 \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} (x + 2)^2 \leq 0 \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = -2 \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases}$$

Так как

$$4\sin y - 3\cos y = 5 \Rightarrow \text{в силу (1)} \Rightarrow y - \varphi = \frac{\pi}{2} + 2R\pi; y = \frac{\pi}{2} + \operatorname{actg} \frac{3}{4} + 2R\pi; \text{ Но } 0 \leq y \leq 2\pi,$$

$$\text{тогда } R = 0, \text{ и } y = \frac{\pi}{2} + \operatorname{actg} \frac{3}{4};$$

$$\text{Итак } \begin{cases} x = -2 \\ y = \frac{\pi}{2} + \operatorname{actg} \frac{3}{4} \end{cases}$$

2) Пусть $a = -\frac{1}{3}$;

тогда из (2)

$$\Rightarrow x^2 - \frac{2}{3}x + \frac{4}{9} + \frac{5}{3} - 2 \leq 0 \Rightarrow x^2 - \frac{2}{3}x + \frac{19}{9} - 2 \leq 0 \Rightarrow \begin{cases} (x - \frac{1}{3})^2 \leq 0 \\ 0 \leq y \leq 2\pi \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x = \frac{1}{3} \\ y = \frac{\pi}{2} + \operatorname{actg} \frac{3}{4} \end{cases}$$

Ответ: $a = 2$; $a = -\frac{1}{3}$

Заключение

Для успешного решения различных задач, связанных с исследованием функций с помощью производной и без применения производной обучающимся недостаточно рассматривать только типовые задания. Важно владеть понятием производной, знать свойства касательной к графику и уметь исследовать функцию, оценивать скорость процесса, описываемого функцией и изменения ее величины.

Умение исследовать функции на глобальный экстремум необходимо учащимся для развития исследовательских навыков и для усвоения элементов математического анализа. Учащийся, овладевший умением исследовать функции, не только применяет его для решения некоторого задания, но и может описать содержание своей работы, охарактеризовать сущность решения. Такого рода задачи способствуют активизации мыслительной деятельности учащихся, вызывают больший интерес к изучению математики и могут быть использованы при подготовке к олимпиадам различного уровня.

Список использованных источников:

- 1 Таубаева Ш.Т. *Методология и методы педагогического исследования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ш.Т. Таубаева, А.А. Булатбаева. Электрон. текстовые данные, Алматы: Казахский национальный университет им. Аль-Фараби. 2015- 214 с.*
- 2 Шмигирилова И.Б. *Задачный подход как основа эффективного обучения школьников математике // Актуальные проблемы методики обучения информатике и математике в современной школе. Материалы международной научно-практической интернет-конференции. М.: МПГУ. 2019. с. 449–456.*
- 3 Далингер В.А. *Методика обучения математике. Поисково-исследовательская деятельность учащихся: учебник и практикум для вузов / . – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 460 с.*
- 4 Кенбаева Н.А., Мунарбаева Д.А. *Оқушының өздігінен білім алуын және шығармашылық дағдысын қалыптастыру жолдары / International Scientific and Practical Conference “WORLD SCIENCE” №6 (22), vol.4, June 2017. – с. 32–35.*
- 5 Байслонова Р.Н. *«Производная» в общеобразовательных классах и в классах с углубленным изучением математики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://infourok.ru/issledovatel'skaya-deyatelnost-proizvodnaya-obscheobrazovatel'nyh-klassah-i-v-klassah-s-uglublennim-izucheniemmatematiki-731784.htm>*
- 6 Виленкин Н.Я., Ивашов - Мусатов О.С. *Алгебра и начала математического анализа/учебник для учащихся общеобразовательных организаций. М.: 2015г.*
- 7 Сергеев И.Н. *Математика: Сборник заданий письменных вступительных экзаменов в МГУ им. М.В.Ломоносова. М: 2008 г*
- 8 Мордкович А. Г. *Алгебра и начала математического анализа. 10- 11 классы./ Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений (базовый уровень) М.: Мнемозина, 2013. – 400 с.*
- 9 Никольский С. М. *Алгебра и начала математического анализа. 11 класс: учебник для общеобразовательных организаций: базовый и проф. уровни - М.: Просвещение, 2009. — 464 с*
- 10 Шаверская, О. Н. *Развитие познавательных интересов учащихся / О. Н. Шаверская // Практический журнал для учителя и администрации школы. –2002. –№10. –с. 60-64*
- 11 Пластун С. В. *«Формирование ключевых компетентностей обучающихся при изучении производной функции в школе» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://infourok.ru/formirovaniye-klyuchevihkompetentnostey-obuchayuschih-sya-pri-izuchenii-proizvodnoy-funkcii-v-shkole3428634.html>*

References:

- 1 Taubaeva Sh.T. *Methodology and methods of pedagogical research [Electronic resource]: textbook/Sh.T. Taubaeva, A.A. Bulatbaeva. Electron. text data, Almaty: Al-Farabi Kazakh National University. 2015- 214 c.*
- 2 Shmigirilova I.B. *Task approach as the basis of effective teaching of schoolchildren in mathematics//Actual problems of the methodology of teaching computer science and mathematics in modern school. Materials of the international-native scientific and practical Internet conference. M.: Moscow State Pedagogical University. 2019. p. 449-456.*
- 3 Dalinger V.A. *Methodology for teaching mathematics. Search and research and physical activities of students: a textbook and a workshop for universities/. - 2nd ed., Rev. and additional. - M.: Publishing House Yuryt, 2018. - 460 s.*
- 4 Kenbaeva N.A., Munarbaeva. D.A. *Ways to form self-education and creative skills of the student/International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" No. 6 (22), vol.4, June 2017. - p. 32-35.*
- 5 R.N. Baislonova *"Derivative" in general education classes and in classes with in-depth study of mathematics [Electronic resource] - Access mode: <https://infourok.ru/issledovatel'skaya-deyatelnost-proizvodnayav-obscheobrazovatel'nykh-klassakh-i-v-klassakh-s-uglublennim-izucheniemmatematiki-731784.htm>*
- 6 Vilenkin N.Ya., Ivashov - Musatov O.S. *Algebra and the beginning of mathematical analysis/textbook for students of educational organizations. M.: 2015*
- 7 Sergeev I.N. *Mathematics: Collection of tasks of written entrance exams at Moscow State University named after M.V. Lomonosova. M: 2008*
- 8 Mordkovich A. G. *Algebra and the beginning of mathematical analysis. Grades 10-11/Textbook for students of educational institutions (basic level) M.: Mnemosina, 2013. - 400 p.*
- 9 Nikolsky S. M. *Algebra and the beginning of mathematical analysis. Grade 11: textbook for general education organizations: basic and prof. levels - M.: Enlightenment, 2009. - 464 p.*
- 10 Shaverskaya, O. N. *Development of cognitive interests of students/O. N. Shaverskaya//Practical magazine for teacher and school administration. -2002. -No 10. -s. 60-64*
- 11 Plastun S. V. *"Formation of key competencies of students in the study of a derivative function in school" [Electronic resource] - Access mode: <https://infourok.ru/formirovanie-klyuchevihkompetentnostey-obuchayuschihsya-pri-izuchenii-proizvodnoy-funkcii-v-shkole3428634.html>*

И.Б. Шмигирилова

*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан
e-mail: irinankzu@mail.ru

ГОТОВНОСТЬ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Аннотация

Поиски различных способов решения задачи, критическая их оценка с целью определения наиболее рациональных позволяют раскрывать богатые возможности математики, являются важным фактором развития математического мышления студентов и тех качеств, которые будут востребованы в их профессиональной деятельности. Цель статьи – исследовать готовность будущих учителей математики к решению задач различными методами или способами и определить возможности вузовского обучения в развитии знаний и умений студентов, определяющих эту готовность. Эмпирические данные, полученные в ходе исследования и представленные в работе, доказывают, что готовность студентов первого курса к использованию разных стратегий для решения одной и той же задачи достаточно низкая, но повышается к четвертому году вузовского обучения за счет более углубленного освоения курса школьной математики и проведению занятий, где будущие учителя непосредственно включаются в поиск различных способов и методов решения задач.

Ключевые слова: математическая задача, методы решения задач, подготовка учителей математики, обучение математике.

Аңдатпа

И.Б. Шмигирилова

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан,
**БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ ЕСЕПТЕРДІ ТҮРЛІ ТҮСІЛДЕРМЕН
ШЕШУ ДАЙЫНДЫҒЫ**

Есепті шешудің әртүрлі жолдарын іздестіру, олардың ең ұтымдысын анықтау үшін оларды сыни бағалау математиканың бай мүмкіндіктерін ашуға мүмкіндік береді және оқушылардың математикалық ойлауын дамытудың маңызды факторы болып табылады, бұл олардың кәсіби қызметінде сұраныс үшін қажет болады. Мақаланың мақсаты – болашақ математика мұғалімдерінің әртүрлі әдістерді немесе тәсілдерді қолдана отырып есептерді шешуге дайындығын зерттеу және осы дайындықты анықтайтын студенттердің білімдері мен дағдыларын дамытуда университеттік білім берудің мүмкіндіктерін анықтау. Зерттеу барысында алынған және жұмыста ұсынылған эмпирикалық деректер бірінші курс студенттерінің бір есепті шешу үшін әртүрлі стратегияларды қолдануға дайындығы айтарлықтай төмен екенін, бірақ университетте оқудың төртінші курсына қарай жоғары оқу орнында мектептегі математика курсы мен сабақтарды өткізу оқуды тереңірек меңгеруіне байланысты жоғарылайтынын дәлелдейді, мұнда болашақ математика мұғалімдері есептерді шешудің әртүрлі жолдары мен әдістерін іздеуге тікелей қатысады.

Түйін сөздер: математикалық есептер, есептерді шешу әдістері, математика мұғалімдерін даярлау, математиканы оқыту.

Abstract

FUTURE MATHEMATICS TEACHERS' WILLINGNESS TO SOLVE PROBLEMS IN VARIOUS WAYS

Shmigirilova I.B.

M. Kozymbaev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan,

The search for different ways to solve a problem, their critical assessment in order to determine the most rational ones allow one to reveal the rich possibilities of mathematics and are an important factor in the development of students' mathematical thinking and those qualities that will be in demand in their professional activities. The purpose of the article is to explore the readiness of future mathematics teachers to solve problems using various methods or methods and to determine the possibilities of university education in developing the knowledge and skills of students that determine this readiness. Empirical data obtained during the study and presented in the work prove that the readiness of first-year students to use different strategies to solve the same problem is quite low, but increases by the fourth year of university study due to more in-depth mastery of the school mathematics course and conducting classes where future mathematics teachers are directly involved in the search for various ways and methods of solving problems.

Keywords: mathematical problems, problem solving methods, training teachers of mathematics, teaching mathematics.

Введение

Решение математических задач представляет собой сложный процесс, который требует от обучающихся анализа условия задачи, актуализации и творческого применения известных понятий, формул и теорем на основе понимания основных взаимосвязей данных задачи и того, что требуется найти, построить или доказать. Не случайно, многие математики-методисты считают, что задачи являются эффективным и зачастую незаменимым средством усвоения учащимися понятий, методов математики и математических теорий в целом. [1 – 3 и др.]. Кроме того, математические задачи обладают немалым развивающим потенциалом, реализовать который можно с помощью различных приемов, одним из которых является решение задачи различными методами или способами. Эффективность этого методического приема неоднократно подтверждена не только научными исследованиями, но и образовательной практикой. Недаром в научно-методической литературе часто упоминается и поддерживается мнение известного американского математика и методиста Д. Пойа о том, что лучше одну задачу решить тремя способами, чем три задачи одним способом [4, С. 40].

Математические задачи решаемы разными способами или методами расширяют область специфических развивающих возможностей математики. В.А. Далингер [5] считает подобную деятельность одним из обязательных условий, которое необходимо использовать при организации работы с детьми одаренными в области математики для обеспечения их дальнейшего интеллектуального развития.

Анализ исследований [6 – 9 и др.] позволяет заключить, что при решении одной и той же задачи с использованием различных стратегий (методов или способов) можно обеспечить достижение целого спектра дидактических целей:

- освоение и закрепление учащимися знаний о различных математических методах и умений их применять при решении задач, что, в свою очередь, положительно отражается на их успеваемости и интересе к математике;
- преодоление формализма при усвоении знаний обучающимися, который неизменно проявляется при обычном заучивании математических фактов;
- формирование представлений о системном характере содержания курса математики через выявление внутрисубъектных и межпредметных связей;
- освоение приёмов логического поиска, который в свою очередь, развивает исследовательские способности учащихся;
- наращивание прогностических умений;
- формирование готовности понимать и объяснять собственные затруднения, правильно задавать вопросы, которые позволят преодолеть трудности в процессе поиска различных стратегий решения задачи;
- расширение набора когнитивных схем и рост их гибкости и динамичности;
- развитие критического мышления и совершенствование рефлексивных способностей обучающихся в процессе обсуждения рациональности того или иного способа, или метода решения задач определенного типа;
- активизация мыслительной деятельности школьников и поддержание их готовности к использованию совокупности мыслительных операций: анализа, синтеза, сравнения, конкретизации, обобщения и др.;
- обучение генерированию идей в процессе поиска продуктивных оригинальных решений;
- развитие произвольного и непроизвольного контроля хода мышления;
- формирование математической культуры обучающихся и в целом культуры интеллектуальной деятельности;
- развитие готовности к отстаиванию собственной идеи, а также уважительного отношения к чужим идеям и мнениям.

В качестве методических приемов, способствующих повышению эффективности обучения школьников решению задач различными методами или способами, авторы определяют:

- специальное планирование подобной работы и ее продуманную организацию;

- тщательный подбор задач, которые будут предложены учащимся для решения различными методами или способами, систематическое обращение к ним (в идеале – при изучении каждого раздела курса математики);
- ознакомление учащихся с сущностью отдельных методов решения, существенных особенностей их применения при решении задач различных типов;
- принятие учителем роли фасилитатора, всемерно поддерживающего активность обучающихся, обеспечивающего мотивацию и позитивный эмоциональный фон в классе;
- продуманная и своевременная помощь учащимся со стороны учителя, в случае возникающих затруднений в поиске нового способа решения;
- обеспечение возможности для школьников реализовывать самостоятельный поиск различных методов или способов решения задачи, постепенное увеличение доли их самостоятельной деятельности;
- продумывание учителем возможных затруднений при разрешении познавательных проблем и путей их преодоления, восприятие ошибок и просчетов школьников ни как повода для критики, а как подсказка направления дальнейшего совершенствования их знаний и умений;
- использование дидактических карточек, содержащих указания или, лучше, вопросы, которые должны не подсказывать новый способ или метод решения задачи, а направлять обучающихся в процессе его поиска;
- применение в обучении диалоговых и полилоговых форм взаимодействия учащихся в процессе поиска стратегии решения задачи;
- систематическое побуждение обучающихся к рефлексивной коммуникации для обоснования выбранного способа решения задачи, объяснения насколько он рационален или нерационален, а также для осознания собственных затруднений в процессе решения и их причин.

В англоязычных исследованиях авторы [10, 11 и др.] используют термин «Multiple-solution tasks» (задачи с множественным решением) и особо отмечают, что решение таких задач культивирует такие важные качества мышления как гибкость и глубина. Такого же мнения придерживаются и отечественные ученые [12 и др.]. Также в работах зарубежных исследователей по вопросам обучения решению задач различными методами или способами то и дело мелькает термины «дивергентное мышление» и «вариативность мыслительной деятельности», характеризующих качества интеллекта, которые необходимы решателю при работе с подобными задачами.

Таким образом, систематическое обращение к использованию данного приема в школьной практике обучения математике будет способствовать повышению эффективности учебного процесса. Следовательно, вузовская подготовка будущих учителей должна обеспечивать их готовность к решению задач с использованием различных методов или способов, которая в дальнейшем будет востребована при организации подобной деятельности школьников. Кроме того, привлечение студентов-математиков к решению задач с использованием различных методов и способов способствует формированию их знаний и умений, лежащих в основе профессиональных компетенций учителя математики. В связи с этим нельзя не согласиться с R. Leikin и A. Levav-Waynberg [13], которые замечают, что готовность к решению множественных задач выступает, как зеркало развития знаний учителей математики. При этом авторы отмечают, что зачастую не проявляют энтузиазма использовать задачи с множественным решением в своей практике.

Цель статьи – исследовать готовность будущих учителей математики к решению задач различными методами или способами и определить возможности вузовского обучения в развитии знаний и умений студентов, определяющих эту готовность.

Методология исследования

В качестве методологической основы исследования выступили положения задачного подхода в образовании, ориентирующего на построение обучения, как процесса последовательного решения учебных задач. В процессе теоретического анализа была актуализирована роль учебно-познавательной деятельности, в рамках которой обучающиеся выполняют поиск решения задачи различными методами или способами в достижении дидактических целей.

Эмпирические данные были получены на основе опроса студентов, а также анализа результатов выполнения ими специального задания, в котором предлагались задачи из различных разделов школьного курса математики с указанием, что каждую из них нужно решить не менее чем двумя методами или способами. Кроме того, дополнительный вклад в исследование внесли опрос студентов,

беседы с ними и наблюдение за их работой при решении задач. К исследованию с их согласия привлекались студенты последних четырех выпусков образовательных программ 6В01502 «Математика», 6В01508 «Математика-Информатика», 6В01509 «Математика-Физика» – всего 64 человека. Сбор эмпирических данных осуществлялся в два этапа: в начале обучения студентов (в 1 семестре) и в конце их обучения (в 8 семестре).

Результаты исследования

Начальный этап опроса организовывался в конце первого месяца обучения вновь принятых студентов после их первичной адаптации. Первый вопрос, на который отвечали студенты-первокурсники, был нацелен на выяснение их понимания того, в каком случае можно говорить, что задача решена «различными методами», а в каком, что она решена «различными способами». Результаты ответа на этот вопрос свидетельствуют о том, что студенты первого курса либо не знают, чем отличаются данные понятия (43,75 %), либо отличают их только интуитивно (56,25%). При этом даже те студенты, которые указывали на интуитивное понимание различия в этих терминах, на самом деле в дальнейшем не всегда могли его проявить.

Следующий вопрос касался того, насколько часто во время их школьного обучения первокурсники сталкивались с решением задач различными методами или способами. Анализ ответов на этот вопрос представлен в диаграмме на рисунке 1. Диаграмма наглядно демонстрирует, что подобная деятельность по решению задач в школе происходит весьма редко.



Рисунок 1. Анализ ответов первокурсников на вопрос о том, как часто во время их школьного обучения они сталкивались с решением задач различными методами или способами

Дополнительное разъяснение к такому положению дел было получено в ответах студентов на третий вопрос: Если вы в школе решали задач различными методами или способами, то к каким разделам школьной математики относились эти задачи? Отвечая на данный вопрос, студенты выделяли: прежде всего – текстовые задачи, которые решались в 5-6 классах, системы линейных уравнений, квадратные уравнения; реже – задачи на преобразования тригонометрических выражений и решение тригонометрических уравнений, еще реже – геометрические задачи.

Задание, проверяющее готовность студентов-первокурсников к решению задач различными методами или способами, включало 5 задач по темам: квадратные уравнения; уравнения с модулем; текстовые задачи на движение; тригонометрические неравенства; планиметрические задачи. Предварительно студентам было разъяснена разница между понятиями «метод решения» и «способ решения» в русле того, как они интерпретируются в методической литературе. Приведем пример, одного из вариантов заданий, предложенных студентам.

Задание. Решите каждую из следующих задач не менее чем двумя методами или способами.

1. Решите квадратное уравнение: $x^2 - 6x - 16 = 0$.
2. Решите уравнение с модулем: $|2x - 1| - |x + 5| = 0$.

3. В 8 часов утра из Астаны в Павлодар вышел поезд со скоростью 60 км/ч. В 11 часов из Павлодара ему навстречу вышел другой поезд со скоростью 70 км/ч. В какое время поезда встретятся, если расстояние между Астаной и Павлодаром 440 км?
4. Решите неравенство: $tg 2x + ctg 2x + 2 < 0$.
5. На продолжении противоположных сторон параллелограмма AB за точку A и DC за точку C отложены равные отрезки AK и CL . Докажите, что полученный четырехугольник $LBKD$ – параллелограмм.

Как видно из приведенного примера задачи не выходили за рамки школьного курса и не были сложными, чтобы их повышенная сложность не отвлекала студентов от основной цели – нахождения нескольких способов или методов решения. Таким образом, большинство обучающихся решили все задания хотя бы одним из способов. Предстает совсем иная картина с повторным решением этих же задач другим способом или методом. Лучше всего студенты проявили себя при решении квадратных уравнений.

Практически все решили уравнение не только с использованием формулы дискриминанта, но и применив теорему, обратную к теореме Виета, метод выделения полного квадрата или графический метод. Некоторые участники исследования решили квадратное уравнение даже тремя методами. Такой результат вполне объясним, поскольку все эти методы изучаются в школьном курсе, причем в рамках одного и того же раздела. Решение всех остальных задач с использованием стратегии, отличной от первой, вызвало у многих студентов затруднения. Хуже всего будущие педагоги справились с поиском разных способов решения планиметрической задачи.

Для проверки готовности к решению задач разными методами или способами этих же студентов уже учащихся на 4 курсе было составлено аналогичное задание, с некоторыми изменениями. Эти изменения, прежде всего, были нацелены на расширение тематической принадлежности задач с целью дополнительного охвата тех разделов, которые осваивались студентами в рамках ряда вузовских дисциплин, направленных на углубленное изучение и систематизацию курса элементарной математики.

Так, например, квадратное уравнение было заменено на квадратное неравенство, уравнение с модулем – на уравнение с параметром, текстовая задача на движение заменена задачей на смеси и сплавы, планиметрическая задача – на стереометрическую. Сравнительный анализ выполнения задания по решению задач различными методами или способами студентами 1-го и 4-го курсов представлен в диаграмме на рисунке 2.



Рисунок 2. Сравнительный анализ выполнения задания по решению задач различными способами или методами студентами 1 и 4 курсов

Примечательно, что все студенты четвертого курса квадратное неравенство решили двумя методами: графическим и методом интервалов. Никто из студентов не свел решение квадратного неравенства к решению совокупности двух систем линейных неравенств. Причиной тому, как объясняли сами студенты после выполнения задания, было то, что им на занятиях неоднократно говорили о том, что метод интервалов для решения рациональных неравенств степени больше первой и дробно-рациональных неравенств является более рациональным. При решении текстовой задачи и первокурсники, и студенты четвертого курса выбирали два способа решения и остановились на использовании в одном случае составление уравнения, в другом – составление системы уравнений, то есть, по сути, работали в рамках одного метода – алгебраического. К арифметическому методу решения обратились лишь единицы: на первом курсе – 2 человека, на четвертом – 5. Достаточно большой процент студентов предложили по два решения стереометрической задачи. Меньше всего студентов четвертого курса обнаружили два решения уравнения с параметром.

В процессе опроса студентам 4 курса было предложено самим оценить свою готовность находить несколько решений задач всего по двум пунктам: 1) оцените ваш уровень готовности к решению школьных математических задач различными методами или способами по шкале от 0 до 3: 0 – совсем не готов, 1 – готов в рамках отдельных тем, 2 – готов по большинству тем школьного курса, 3 – полностью готов; 2) оцените, используя эту же шкалу, ваш уровень готовности к обучению школьников решению математических задач различными методами или способами. Результаты опроса представлены в диаграмме на рисунке 3.



Рисунок 3. Анализ самооценки студентов 4 курса об их готовности к решению задач различными методами или способами (данные округлены до десятых).

Диаграмма свидетельствует о том, что студенты не считают себя полностью готовыми к работе со школьниками в направлении их обучения решению задач различными методами и способами. Также в устной беседе будущие учителя, отмечая значимость данной деятельности, выражали намерения дальше совершенствоваться в направлении ее освоения.

Дискуссия

Готовность будущих учителей математики к решению задач различными способами или методами является одной из значимых составляющих их профессиональных компетенций. Поскольку в рамках школьного образования данная готовность развивается далеко не в полной мере, вузовское обучение должно ликвидировать этот пробел. Частично эта проблема разрешается при освоении студентами дисциплин «Элементарная математика», «Практикум по решению математических задач», «Элементарная геометрия», нацеленных на углубленную проработку школьного курса математики.

Однако, как справедливо отмечают ученые [5, 6, 11], при решении задач различными способами или методами является востребованным системное представление об идеях и методах математики. Такое, системное представление не всегда возможно сформировать у студентов только в рамках курсов, представленных выше, поскольку они, как правило, строятся по принципу тематической группировки материала, а занятий, которые в соответствии с syllabusом ориентированы на обобщение и систематизацию изученного, не достаточно, чтобы в полной мере решить рассматриваемую проблему. Поэтому полезно в учебный план будущих учителей математики включить такие дисциплины как «Идеи и методы школьного курса математики» и «Технологии обучения школьников решению математических задач».

Первая из этих дисциплин как раз и направлена на систематизацию и обобщение материала различных разделов школьного курса и подготовку будущих учителей математики к осознанному использованию идей и методов математики при решении математических задач, в том числе и с использованием различных методов или способов. Вторая дисциплина в большей мере учит студентов тому, как обучать школьников решению задач различной сложности. В рамках этого курса предусмотрены ряд занятий, которые непосредственно направлены на совершенствование уровня готовности будущих учителей к обучению учащихся решению математических задач различными методами или способами. Так в беседах студенты, участвовавшие в исследовании, отмечали, что именно те занятия, в рамках которых была необходимость при решении задач искать и реализовывать различные стратегии (методы или способы), оказали влияние на их интерес к процессу работы с математическими заданиями, побуждали к вдумчивому изучению фактов и методов математики, постепенно развивая те умения, которые и определяют обозначенную готовность.

На занятиях полезно не только организовывать работу по решению задач различными методами или способами, а также знакомить их с методикой организации подобной работы в школе. Например, можно предложить в качестве задания СРС подобрать задачи по разным темам школьной математики, для решения которых могут быть применимы различные методы, решить эти задачи и разработать карточки-подсказки, которые помогут школьникам обнаружить и реализовать эти методы. Усложнить такое задание можно требованием подготовить несколько таких карточек, ориентированных на обучающихся с разным уровнем математической подготовки. Такие карточки позволят реализовывать дифференцированный подход при обучении школьников решению задач разными методами или способами.

Таким образом, положительный опыт, приобретенный студентами в рамках освоения этих дисциплин, в будущей профессиональной деятельности может быть успешно перенесен в школьную практику.

Заключение

Решение задач различными методами и способами – существенный шаг к систематическому, творческому восприятию математического содержания. Решая задачу одним способом, обучающийся нацелен только на то, чтобы найти правильный ответ. Поиск нескольких способов решения одной и той же задач положительно сказывается на интеллектуальных качествах решателя. Обдумывая и сравнивая различные решения, будущие учителя утверждают в мысли о том, что важно не только получить ответ, но и использовать для этого наиболее рациональный, оригинальный или красивый способ. Овладение способностью решать одну и ту же задачу, используя разные стратегии, актуализирует необходимость вспомнить многие теоретические факты, методы и приемы, анализируя их с точки зрения применения к конкретной задачной ситуации.

Поскольку обучение в школе, по ряду объективных и субъективных причин, не может в полной мере гарантировать, что те выпускники, которые намериваются связать свою жизнь с профессией учителя математики, приобретут знания, умения и навыки, составляющие основу готовности к решению математических задач различными методами или способами, то эта проблема должна быть решена в рамках вузовского обучения. Составляя рабочие программы вузовских курсов, ориентированных на углубленное повторение и систематизацию содержания школьной математики, необходимо предусмотреть не только освоения совокупности математических методов, но возможность использования при решении одной и той же задачи. При этом важно, чтобы тематическая принадлежность задач решаемых студентами различными методами или способами была многообразной.

Планомерная и систематическая работа студентов, нацеленная на отыскание различных стратегий решения задач, позволит не только обогатить их учебный опыт, сформировать открытую познавательную позицию, но и обеспечить развитие у них целого ряда интеллектуальных качеств и личностных свойств, так необходимых учителю математики для компетентного, эффективного и творческого осуществления профессиональной деятельности.

Список использованной литературы:

- 1 Abylkassymova A. E., Tuyakov Y. A., Kaparova R. M., Dyussov M.S., Zhanseitova L. Zh., Ardabayeva A. K. *Methodical Aspects of Pupils' Teaching to Solve Mathematical Task // International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29 (4). P. 2440–2452.
- 2 Ералиев С. Е., Бердіахмет И. Элементар математикадан қиындығы жоғары есептерді шешуәдістері // Абай атындағы ҚазҰПУ-нің ХАБАРШЫСЫ, «Физика-математика ғылымдары» сериясы. 2020. № 4(72). Б. 17–22. <https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.02>
- 3 Шмигирилова И.Б. Методы, формы и средства активного обучения школьной математике // Вестник Северо-Казахстанского университета имени Манаша Козыбаева. 2019. № 4 (45). С. 196–204.
- 4 Пойа Д. Как решать задачу / пер. с англ. В. Г. Звонарёвой, Д. Н. Белла; под ред. Ю. М. Гайдука. – 2-е изд. – М.: Учпедгиз, 1961. – 208 с.
- 5 Нурбаева Д.М., Кесик А.Ж. О методике обучения учащихся решению текстовых задач разными методами // Материалы Международной научной конференции «Инновационные подходы к обучению математике в школе и вузе». Омск. 2021 С. 99–103
- 6 Далингер В.А. Теория и практика работы с математически одаренными детьми // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 9. С. 141–143.
- 7 Evans S., Swan M. *Developing students' strategies for problem solving: the role of pre-designed «Sample Student Work» // Educational Designer*. 2014. Vol. 2(7). 31 p.
- 8 Gridos P., Avgerinos E., Mamona-Downs J., Vlachou R. *Geometrical Figure Apprehension, Construction of Auxiliary Lines, and Multiple Solutions in Problem Solving: Aspects of Mathematical Creativity in School Geometry // International Journal of Science and Mathematics Education*, 2021. Vol. 20. 619–636. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10155-4>.
- 9 Дюмина Т.Ю., Махонина А.А. Обучение школьников поиску идеи решения геометрической задачи различными способами // Грани познания. 2013. № 1 (21). С. 64–71.
- 10 Levav-Waynberg A., Leikin R. *The role of multiple solution tasks in developing knowledge and creativity in geometry // Journal of Mathematical Behavior*. 2012. Vol. 3(1). P. 73–90. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2011.11.001>
- 11 Guberman R., Leikin R. *Interesting and difficult mathematical problems: Changing teachers' views by employing multiple-solution tasks // Journal of Mathematics Teacher Education*. 2013. Vol. 16(1). P. 33–56. <https://doi.org/10.1007/s10857-012-9210-7>
- 12 Рахымбек Д., Юнусов А.А., Юнусова А.А., Айтбаева Н.Ж. Методика обучения решению геометрических задач на доказательство различными способами // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 4–2. С. 48–53
- 13 Leikin R., Levav-Waynberg A. *Solution Spaces of Multiple-Solution Connecting Tasks as a Mirror of the Development of Mathematics Teachers' Knowledge // Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. 2008. Vol. 8(3). P. 233–251. <https://doi.org/10.1080/14926150802304464>

References:

- 1 Abylkassymova A. E., Tuyakov Y. A., Kaparova R. M., Dyussov M.S., Zhanseitova L. Zh., Ardabayeva A. K. (2020). *Methodical Aspects of Pupils' Teaching to Solve Mathematical Task. International Journal of Advanced Science and Technology*. 29(4). 2440–2452.
- 2 Yerallyev S. E., Berdiakhmet I. (2020). *Methods for solving problems of elementary mathematics of higher difficulty solving high-complexity problems. Abai Kazakh National Pedagogical University bulletin. Of Physics & Mathematical Sciences*. 4(72). 17–22. <https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.02> (In Kazakh)
- 3 Shmigirilo I. (2019). *Methods of form and means of active teaching school mathematics. Bulletin of North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev*. 4 (45). 196–204. (In Russian)
- 4 Polya D. *How to solve a problem / trans. from English V. G. Zvonareva, D. N. Bella; edited by Yu. M. Gaiduk. – 2nd ed. – M.: Uchpedgiz, 1961. – 208 p. (In Russian)*
- 5 Nurbaeva D.M., Kesik A.Zh. (2021). *On the methodology of teaching students to solve word problems using different methods. Proceedings of the International Scientific Conference “Innovative approaches to teaching mathematics at school and university”*. Omsk. 99–103 (In Russian)
- 6 Dalinger V.A (2015). *Theory and practice of working with mathematically gifted children. International journal of experimental education*. 9. 141–143. (In Russian)

7 Evans S., Swan M. (2014). *Developing students' strategies for problem solving: the role of pre-designed «Sample Student Work»*. *Educational Designer*. 2(7). 31 p.

8 Gridos P., Avgerinos E., Mamona-Downs J., Vlachou R. (2021). *Geometrical Figure Apprehension, Construction of Auxiliary Lines, and Multiple Solutions in Problem Solving: Aspects of Mathematical Creativity in School Geometry*. *International Journal of Science & Mathematics Education*. 20. 619-636. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10155-4>.

9 Dyumina T.Yu., Makhonina A.A. (2013). *Teaching pupils to search for the answer of a geometric task by different ways*. *Grani poznaniya*. 1(21). 64–71. (In Russian)

10 Levav-Waynberg A., Leikin R. (2012). *The role of multiple solution tasks in developing knowledge and creativity in geometry* // *Journal of Mathematical Behavior*. 3(1). 73–90. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2011.11.001>

11 Guberman R., Leikin R. (2013). *Interesting and difficult mathematical problems: Changing teachers' views by employing multiple-solution tasks* // *Journal of Mathematics Teacher Education*. 16(1). 33–56. <https://doi.org/10.1007/s10857-012-9210-7>

12 Rahimbek D., Yunusov A.A., Yunusova A.A., Aitbayeva N.J. (2013). *Methods of teaching in the solution of geometrical tasks on the proof in various ways*. *International journal of experimental education*. 4–2. C. 48–53 (In Russian)

13 Leikin R., Levav-Waynberg A. (2008). *Solution Spaces of Multiple-Solution Connecting Tasks as a Mirror of the Development of Mathematics Teachers' Knowledge*. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. 8(3). P. 233–251. <https://doi.org/10.1080/14926150802304464>

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

МРНТИ 27.47.19
УДК 512.647

10.51889/2959-5894.2023.83.3.014

CRYPTOGRAPHIC ANALYSIS OF THE SCHEME OF POLYLINEAR CRYPTOGRAPHY

Amirkhanova D.S.^{1*}, Mamyrbayev O.Zh.²

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: amirkhanovadana2@gmail.com

Abstract

In this paper considered a group of unitriangular matrices is vulnerable to an attack based on the efficient method of computation of an unknown exponent m in a matrix equality $A = B^m$ (solution of the discrete logarithm problem) in a group of one-dimensional matrices. We show that the system of the polylinear cryptosystem using nilpotent groups proposed by Kahrobaei together with Italian associates A. Tortora and M. Tota proves vulnerable. This vulnerability is a result of the specific structure of unitriangular matrices, which can be exploited by attackers to efficiently compute the unknown exponent m . This opens up opportunities for attacking the system and compromising data security. Unitriangular matrices play an important role in cryptography, their use helps ensure system security and makes it a popular basis for cryptographic protocols such as Diffie-Hellman key exchange and digital signatures. In these protocols, system security is based on the assumption that it is computationally difficult to find a discrete logarithm of the elements involved. However, advances in computing power and algorithmic techniques have led to the development of more efficient algorithms for solving discrete logarithm problems using unitriangular matrices in certain groups, which poses a security threat to these protocols. The proposed work provides a cryptographic analysis confirming the vulnerability of unitriangular matrices.

Keywords: algebraic cryptography, polylinear cryptography, cryptanalysis, nilpotent group, key exchange.

Аңдатпа

Д.С. Әмірханова¹, Ө. Ж. Мамырбаев²

¹Сәтбаев университеті, Алматы қ., Қазақстан,

²ҚР БҒ Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан

КӨП СЫЗЫҚТЫ ФУНКЦИЯЛАРДЫ КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ТАЛДАУ

Бұл жұмыста Кахробби және итальяндық әріптестері А.Тортора және М.Тотамен бірге ұсынған нильпотентті топтардағы көп сызықты криптография сызбасының криптографиялық талдауы келтірілген. Қарапайым ақырлы өрістің үстіндегі униұшбұрышты матрицалар тобындағы $A = B^m$ матрицалық теңдікте (дискретті логарифм мәселесін шешуге) белгісіз m дәрежесін тиімді есептеу әдісіне негізделген шабуыл осы сызбаның криптографиялық тұрақсыздығын көрсетеді. Бұл осалдық шабуылдаушылар белгісіз m көрсеткішін тиімді есептеу үшін пайдалана алатын униұшбұрышты матрицалардың арнайы құрылымының нәтижесі болып табылады. Бұл жүйеге шабуыл жасау және деректер қауіпсіздігін бұзу үлкен мүмкіндіктерін ашады. Униұшбұрышты матрицалар криптографияда маңызды рөл атқарады, оларды пайдалану жүйенің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге көмектеседі және оны Диффи-Хеллман кілттері алмасу мен цифрлық қолтаңба сияқты криптографиялық хаттамаларда танымал негіз ретінде қарастыруға болады. Бұл хаттамаларда жүйенің қауіпсіздігі есептелетін элементтердің дискретті алгоритмін табу қиын деген болжамға негізделген. Дегенмен, есептеу қуаты мен алгоритмдік техникадағы жетістіктер белгілі бір топтардағы униұшбұрышты матрицаларды пайдана отырып, дискретті логарифмдік есептерді шешудің тиімдірек алгоритмдерін жасауға әкелді, бұл гсы хаттамалардың қауіпсіздігіне қауіп төндіреді. Ұсынылған жұмыста униұшбұрышты матрицалардың осалдығын растайтын криптографиялық талдау қарастырылған.

Түйін сөздер: алгебралық криптография, көп сызықты криптография, криптоталдау, нильпотентті топ, кілтті бөлу.

Аннотация

Д.С. Амирханова¹, О.Ж. Мамырбаев²

¹Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СХЕМЫ ПОЛИЛИНЕЙНОЙ КРИПТОГРАФИИ

В работе рассматривается группа унитарных матриц, уязвимая для атаки, основанная на эффективном методе вычисления неизвестного показателя m в матричном равенстве $A = B^m$ (решение задачи дискретного логарифмирования) в группе одномерных матриц. Показано, что система полилинейной криптографии, быстро использующей нильпотентные группы, предложенная Кахроби совместно с итальянскими коллегами А. Торторой и М. Тота, оказывается уязвимой. Эта уязвимость является результатом специфической структуры унитарных матриц, которую злоумышленники могут использовать для эффективного вычисления неизвестного показателя степени m . Это открывает возможности для атаки на систему и компрометации безопасности данных. Унитарные матрицы играют важную роль в криптографии, их использование позволяет обеспечить безопасность системы и делает его популярной основой для криптографических протоколов таких как обмен ключами Диффи-Хеллмана и цифровые подписи. В этих протоколах безопасность системы основана на предположении, что вычислительно сложно найти дискретный алгоритм задействованных элементов. Однако, достижения в области вычислительной мощности и алгоритмических методов привели к разработке более эффективных алгоритмов решения задач дискретного логарифмирования с использованием унитарных матриц в определенных группах, что представляет угрозу безопасности этих протоколов. В предлагаемой работе дан криптографический анализ подтверждающий уязвимость унитарных матриц.

Ключевые слова: Алгебраическая криптография, полилинейная криптография, криптоанализ, нильпотентная группа, распределение ключа.

Introduction (Literary review)

In recent times, multilinear mappings have constantly attracted the attention of cryptographers. Cryptographic analysis aims to identify and address potential vulnerabilities in cryptographic systems to ensure their security and robustness against potential attacks. In particular, the vulnerability of polylinear cryptosystems to attacks based on the computation of unknown exponents in matrix equalities has been a topic of interest. The idea of their use in information security was proposed by Boneh and Silverberg [1]. One of its main successful uses is the use of obfuscations for indistinguishability [2;3]. Attempts to construct schemes grounded on multilinear mappings were made in algebraic cryptography (see, for illustration, [4], where it was proposed to use a nilpotent group of nil energy position two as an encryption platform).

This note is related to recent work American cryptographer D. Kahrobi together with Italian associates A. Tortora and M. Tota [5]. We dissect the protocol of multilinear cryptography proposed in this work on the platform of a nilpotent group, which appears in [5] as Protocol II.

The structure of farther sections of the composition is as follows. In Section 2, we present multilinear mappings and the general idea of their use in cryptography. It also provides information about nilpotent groups necessary for this composition. In Section 3, we describe a system for calculating the unknown degree m of the matrix equivalency $A = B^m$ in the group $UT(n, F_p)$, where F_p is a finite high field of characteristic p . We explain how this algorithm allows us to efficiently calculate analogous powers with respect to rudiments of a finite nilpotent group. In other words, we present an efficient result to the separate logarithm problem for the class of finite nilpotent groups. Section 4 is devoted to de-scribing Protocol II from [5] and demonstrating its vulnerability using an attack using the procedure described in section 3.

In addition to improving the security of cryptographic systems, the analysis of polylinear cryptography systems also has important practical applications in areas such as secure communication, e-commerce, and data privacy. For example, secure communication protocols based on cryptographic primitives such as encryption, digital signatures, and key exchange are essential for ensuring the confidentiality and integrity of sensitive data transmitted over insecure channels.

Moreover, the widespread use of the internet and mobile devices has made it easier than ever for attackers to intercept and manipulate data, making it even more critical to develop secure and resilient cryptographic systems. The analysis of polylinear cryptography systems can help identify vulnerabilities and weaknesses in existing cryptographic protocols, as well as provide insights into the development of more secure and efficient cryptographic algorithms.

Furthermore, the field of cryptography is constantly evolving, with new mathematical techniques and structures being developed to address emerging security threats and challenges. As such, the study of polylinear

cryptography systems is an ongoing and dynamic area of research, requiring continuous innovation and collaboration between researchers, developers, and practitioners.

Overall, the analysis of polylinear cryptography systems is a critical component of modern cryptography, and its continued development is essential for ensuring the security and privacy of sensitive data in an increasingly interconnected and digital world. As attackers continue to develop new and more sophisticated methods of attack, it is essential that cryptographers remain vigilant and continue to improve the security and resilience of cryptographic systems to ensure the protection of sensitive information.

Polylinear algebra is a mathematical field that deals with multilinear maps, which are maps that take multiple vector inputs and output a scalar. In other words, a multilinear map is a function that is linear in each of its arguments. Polylinear algebra extends the concept of linear algebra to multiple inputs and outputs, which makes it useful in a variety of applications, including cryptography, coding theory, and physics.

The use of multilinear maps in cryptography was first proposed by Boneh and Silverberg in their 2001 paper "Applications of Multilinear Forms to Cryptography". Since then, researchers have been exploring the use of multilinear maps in cryptography and other areas.

One of the most important applications of polylinear algebra is in the construction of efficient encryption and decryption schemes. By using multilinear maps, it is possible to construct more flexible and efficient encryption and decryption schemes than those based on traditional linear algebra. We use a polylinear system with a nilpotent group in cryptography. Nilpotent groups are groups in which the commutator of any two elements lies in a lower central series of the group. These groups play an important role in mathematics, including algebraic geometry, Lie theory, and group theory.

In recent years, there has been increasing interest in the use of nilpotent groups in cryptography, particularly in the context of polylinear algebra. The use of nilpotent groups in cryptography is based on the fact that they have a specific algebraic structure that makes them useful for constructing cryptographic schemes that are resistant to attacks.

One of the main advantages of using nilpotent groups with unitriangular matrices in cryptography is that they have a well-defined structure that allows for efficient computation of various operations. This makes them suitable for use in cryptographic protocols that require fast and efficient computation.

Materials and Methods

Polylinear algebra is a mathematical framework that has found significant applications in the study of nilpotent groups within the field of cryptography. Its origins can be traced back to the 19th-century tensor analysis or "tensor calculus of tensor fields." Initially, polylinear algebra was closely tied to the use of tensors in various mathematical disciplines, including differential geometry and general relativity, as well as numerous areas of applied mathematics. Throughout the 20th century, the study of tensors evolved into a more abstract and generalized field. A notable contribution in this regard is the treatise on multilinear algebra from the Bourbaki group, specifically in chapter 3 of their algebra book. This chapter, titled "tensor algebras, exterior algebras, symmetric algebras," has had a particularly influential impact. The essence of this approach lies in defining tensor spaces as mathematical constructs that serve the purpose of transforming multilinear problems into linear ones. This purely algebraic perspective on tensors does not necessarily emphasize geometric intuition but rather focuses on formalizing the mathematical relationships.

One significant advantage of this formalization is its ability to reframe complex problems in terms of multilinear algebra. By doing so, it becomes possible to arrive at clear and well-defined solutions. Moreover, these solutions are particularly valuable in practice because they precisely align with the constraints that the problem imposes. This alignment between mathematical solutions and real-world constraints makes polylinear algebra a powerful tool in cryptography and other fields where precise problem-solving is essential.

By using multilinear maps, it is possible to construct more efficient cryptographic protocols that are based on the algebraic properties of nilpotent groups. A nilpotent matrix is a matrix that is a nilpotent element with respect to multiplication, that is, a matrix P for which there exists an integer n such that the condition $P^n=O$, where O is the zero matrix. If in the field of complex numbers all the eigenvalues of a matrix are equal to zero, then the matrix is nilpotent. Overall, the use of nilpotent groups and polylinear algebra in cryptography represents an important area of research that has the potential to lead to the development of more efficient and secure cryptographic protocols. By leveraging the algebraic structure of nilpotent groups and the flexibility of multilinear maps, researchers can continue to push the boundaries of what is possible in the field of cryptography.

Let n be a natural number.

For two copies C and D of a cyclic group of prime order p , a mapping $\alpha: C \rightarrow D$ is called multilinear if, for any $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in Z$ and $g_1, \dots, g_n \in C$, the equality

$$\alpha(g_1^{\lambda_1}, \dots, g_n^{\lambda_n}) = \alpha(g_1, \dots, g_n)^\lambda, \quad (1)$$

where $\lambda = \lambda_1 * \dots * \lambda_n$.

α is non-degenerate if for any non-unit element $g \in C$ the element is non-unit in $\alpha(g, \dots, g)$

G is called nilpotent if there is a finite central row of normal subgroups

$$\{1\} = G_0 = G < G_1 < G_2 < \dots < G_n = G, \quad (2)$$

where the centrality of the series means that any factor G_i/G_{i+1} belongs to the center of the factor group G/G_{i+1} . The length of the shortest central series is called the nilpotent class of G . Finite p -groups are nilpotent, that is, groups of primary order p^r with respect to a primenumber p . Moreover, any finite nilpotent group is a direct product of a finite number of finite p -groups (its slow subgroups). Any group of unitriangular matrices $UT(n, K)$ over a field or an associative ring with identity K is nilpotent. See [6] or [7] for properties of nilpotent groups.

For elements a, b of an arbitrary group G , denote by $[a, b]$ their commutator $aba^{-1}b^{-1}$. A simple commutator of arbitrary weight n is defined inductively. By definition, $[a, b]$ is a simple commutator of weight 2. If $u = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ is a simple commutator of weight n , then $[u, a_{n+1}]$ is a simple commutator of weight $n + 1$. Also, (simple) Engel commutators are defined inductively. By definition $[a, b; 1] = [a, b]$. We set $[a, b; n + 1] = [[a, b; n], b]$. A group G is nilpotent of class at most n if and only if any simple commutator of weight $n + 1$ of its elements is equal to 1. The least n with this property is exactly its nilpotency class. This is equivalent to the fact that the group G satisfies the identity $[x_1, x_2, \dots, x_{n+1}] = 1$. A group G is called n -engle if it satisfies the identity $[x_1, x_2; n] = 1$. A nilpotent group of class n is n -engle, the converse is not true in the general case.

On any group G , the following commutator identities ($x, y, z \in G$) hold:

$$[y, x] = [x, y]^{-1}, [xy, z] = x[y, z]x^{-1}[x, z],$$

$$[x, yz] = [x, y]y[x, z]y^{-1}, \quad (3)$$

$$[x, y^{-1}] = y^{-1}[y, x]y, [x^{-1}, y] = x^{-1}[y, x]x.$$

If the group G is nilpotent of class n , then these identities imply that for any integers $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ and any simple commutator $u = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ of weight n from the elements of the group G , the equality

$$[x_1^{\lambda_1}, x_2^{\lambda_2}, \dots, x_n^{\lambda_n}] = u^\lambda, \text{ where } \lambda = \lambda_1 * \dots * \lambda_n. \quad (4)$$

This means that the map defined by the commutator u is multilinear. It follows from (4) in particular that if $\lambda = \gamma\delta$ and $x_i^\gamma = 1$, then $u^\lambda = 1$. Also here considered calculation of powers (discrete logarithms) in the group of unitriangular matrices.

Discrete logarithms are a mathematical problem that plays a crucial role in modern cryptography. The discrete logarithm problem involves finding the exponent m in the equation $g^m = h$, where g and h are elements of a finite cyclic group of order n , and m is an integer between 0 and $n-1$.

Finding the discrete logarithm of an element in a finite cyclic group is believed to be a computationally difficult problem, and there is no known efficient algorithm for solving it in general. This makes it a popular basis for cryptographic protocols, such as Diffie-Hellman key exchange and digital signatures.

In these protocols, the security of the system relies on the assumption that it is computationally difficult to find the discrete logarithm of the elements involved. However, advances in computing power and algorithmic techniques have led to the development of more efficient algorithms for solving discrete logarithm problems in certain groups, which poses a threat to the security of these protocols.

For example, the index calculus algorithm and the number field sieve algorithm are two well-known methods for computing discrete logarithms in certain groups. Therefore, researchers are constantly looking for new mathematical structures and techniques that can be used to construct secure cryptographic protocols that are resistant to these attacks.

Thus, the study of discrete logarithms and their properties is an important area of research in modern cryptography, and it plays a crucial role in ensuring the security of many important cryptographic systems. We consider a discrete algorithm in a unitriangular matrices.

Unitriangular matrices are a class of matrices that have a specific structure and play an important role in linear algebra. A matrix is said to be unitriangular if it is upper triangular with all its diagonal entries equal to 1. These matrices have a number of interesting properties that make them useful in a variety of applications, including cryptography.

One example of a cryptographic scheme based on unitriangular matrices is the polylinear cryptosystem proposed by Kahrobaei et al. This scheme uses nilpotent groups and multilinear maps to construct an encryption and decryption protocol that is resistant to attacks based on the discrete logarithm problem.

However, recent research has shown that the use of unitriangular matrices in cryptographic schemes may be vulnerable to attacks based on efficient methods of computing the unknown exponent m in the matrix equality $A = B^m$. This vulnerability highlights the need for continued research in the area of cryptography, particularly in the development of more efficient and secure encryption and decryption protocols.

Generally, the connection between unitriangular matrices and cryptography highlights the importance of linear algebra in the design and analysis of cryptographic protocols. By leveraging the mathematical properties of matrices, researchers can continue to develop new and more secure methods for protecting sensitive information in a variety of applications.

Consider the group $UT(n, F_p)$ of unitriangular matrices of size n over a simple finite field F_p characteristics p . We will present an efficient procedure for calculating such a matrix B from matrix A that $A = B^m$ for some natural number $m > 1$ provided that such a matrix B exists. The procedure can be easily generalized to the case of the group $UT(n, Z)$ over the ring Z of integers. Note that this procedure represents a solution to the discrete logarithm problem in unitriangular matrix groups over simple finite fields or over the ring Z . See [8] for this problem. The case of a matrix group was considered in [9]. Here given algorithm which considered note that for any matrix $ut(n,)$ the equality $C \in UT(n, F_p)$ is fulfilled. Therefore, we can assume that $m \leq p^{n-1}$. Let's represent m as follows:

$$m = m_0 + m_1p + m_2p^2 + \dots + m_{n-2}p^{n-2}, \tag{5}$$

where $0 \leq m_i \leq p - 1$.

$A = B^m$ as a product of matrices:

$$A = B^{m_0} * B^{m_1p} * \dots * B^{m_{n-2}p^{n-2}}. \tag{6}$$

Search for m_i ($i = 0, \dots, n-2$):

Step 1. In order to find m_0 we compose a system of linear equations (SLE) with respect to the elements of the first secondary diagonal of the matrices A and B^{m_0} :

$$\begin{cases} a_{12} = b_{12} * m_0(\text{mod } p), \\ a_{23} = b_{23} * m_0(\text{mod } p), \\ \dots \\ a_{(n-1)n} = b_{(n-1)n} * m_0(\text{mod } p). \end{cases} \tag{7}$$

If the first side diagonal of matrix B is zero, then the first side diagonal of matrix A is also zero. A similar statement holds for each next diagonal. Having found the first non-zero side diagonal of the matrix B (let it be the diagonal with the number q), we compose an SLE similar to (7) for calculating m_0 :

$$\begin{cases} a_{1,q+1} = b_{1,q+1} * m_0(\text{mod } p), \\ a_{2,q+2} = b_{2,q+2} * m_0(\text{mod } p), \\ \dots \\ a_{n-q,n} = b_{n-q,n} * m_0(\text{mod } p). \end{cases} \tag{8}$$

Solving this system, we find B^{m_0} (solution in non-zero secondary diagonal). Next, we find the single-valued value m_1 from the following system.

$$A * B^{m_0} = B^{m_1 p} * \dots * B^{m_{n-2} p^{n-2}} \tag{9}$$

Now we note that there is a zero side diagonal $q + 1$ on the left side.

Step 2. We raise the matrix B to rank p , thereby zeroing the side diagonal with the number $q + 1$, and then we construct a SLE of the form (8) for its next non-zero side diagonal. Further, we find the single-valued value m_1 in the following system.

$$\begin{cases} a_{1,q+2} = b_{1,q+2} * m_1 \pmod{p}, \\ a_{2,q+3} = b_{1,q+3} * m_1 \pmod{p}, \\ \dots \\ a_{n-q-2,n} = b_{n-q-2,n} * m_1 \pmod{p}. \end{cases} \tag{10}$$

Then we move B^{m_1} to the left side. Thus, we get the equality:

$$A * B^{-m_0} * B^{m_1 p} = B^{m_n p^2} * \dots * B^{m_{n-2} p^{n-2}} \tag{11}$$

Continuing in the manner described, we will ultimately calculate the power of m . Note that this degree is determined from the equation $A = B^m$ not uniquely, but up to the order of the matrix B . At the same time, it's easy to see that the below algorithm finds the minimal positive result m .

You can also notice that when working systems of type (7 – 9), the value of the unknown is calculated from one equation. It is sufficient that both coefficients sharing in the equation are not contemporaneously equal to 0. Still, also the coefficient from the left wing is equal to 0, If the coefficient from the right side is equal to 0. If the system will be unattainable, but by condition the result exists.

Now let G be an arbitrary finite p - group. There are two ways to break the problem separate logarithm in G .

The first of them is related to the fact that any finite the p - group G is isomorphically embeddable in the group $UT(n, F_p)$ for a sufficiently large value of n . First, we put $UT(n, F_p)$ into the group, and also we determine the value of the separate logarithm, as described over.

To implement the second method, we find in G the central series whose factors G_i/G_{i+1} are elementary abelian p -groups (2). Such a series is easily obtained as a densification of an arbitrary value trawl row. If n is the length of the series, then any element $b \in G$ to the power p^n is equal to 1. The value of m in the equation $a = b^m$ can be found in the form (5). In this case, the role of diagonals is played by consecutive factors G_i/G_{i+1} of the series (2). Note that for the group $UT(n, F_p)$ the i -th member of such a series consists of matrices whose first i sub-diagonals are equal to zero. As a corresponding factor, an elementary abelian p -group whose rank is equal to the length of the corresponding diagonal is found.

Eventually, to calculate the separate logarithm in an arbitrary finite nilpotent group G , it suffices to represent it in the form of a direct products of p - groups, and also find the corresponding values for the factors. The performing separate logarithm is determined by the Chinese remainder theorem. The Chinese Remainder Theorem is a fundamental statement of number theory that allows one to solve systems of linear Diophantine equations with two or more unknowns. Basically, this is a theorem about systems of comparisons. We used theory of numbers. If we clarify what it is number theory, we known that is the study of the properties of integers. Integers are not only the natural numbers 1,2,3, ... (positive integers) but also zero and negative integers -1,-2,-3,.... Set designation (...,-3,-2,-1,0,1,2,3,...) integers with the letter Z .

For untriangular groups over Z , the separate logarithm problem is answered simply, the degree is uniquely calculated along the first non-zero slant. Since any finitely generated nilpotent torsion-free group G is embeddable in the group $UT(n, Z)$ for sufficiently large n , this statement is also true for G . You can also directly use the central series of the group G with torsion-free factors for computations (for illustration, the so- called upper central row- see(6).

Any finitely generated nilpotent group G is embeddable in the direct product of a finitely generated torsion-free nilpotent group and a finite nilpotent group (see (10)) [10]. This allows working the separate logarithm problem in this case as well. Either the separate logarithm is uniquely calculated from the first element, or if this element $a = b^m$ if for a and b in the equation there is only one, then for the second - the last set.

Result

We can Description of protocol II from [5] with its cryptographic analysis. Protocol II is a multilinear cryptographic scheme proposed by D. Kahrobaei, A. Tortora, and M. Tota that uses a nilpotent group of class two as a platform for encryption. In this scheme, plaintexts are represented as elements of a finite field, and ciphertexts are represented as elements of a finite abelian group. The encryption process involves a sequence of multilinear maps, with each map using a different set of group elements to encrypt the plaintext.

The security of Protocol II is based on the difficulty of computing discrete logarithms in the underlying nilpotent group. However, recent research has shown that the use of unitriangular matrices in the group of one-dimensional matrices used in Protocol II makes it vulnerable to attacks based on the efficient computation of unknown exponents.

In particular, the vulnerability arises from the fact that the unitriangular matrices used in Protocol II have a special structure that allows for efficient computations of discrete logarithms. This makes it possible for an attacker to recover the plaintext from the ciphertext by computing the discrete logarithm of the encryption key.

To address this vulnerability, researchers have proposed various modifications to Protocol II, such as using more complex nilpotent groups or adding additional layers of encryption. However, these modifications may come at the cost of increased computational complexity and decreased efficiency.

Overall, the analysis of Protocol II highlights the importance of carefully selecting the underlying mathematical structures and algorithms used in cryptographic schemes. It also underscores the need for ongoing research and development in the field of cryptography to ensure the security and resilience of cryptographic systems in the face of evolving security threats. As a result if let G be an open nilpotent group of nilpotency class $n + 1$ that is not n -energetic, left ($n \geq 1$). Then there are elements $x, b \in G$ such that $[x, b; n] \neq 1$. Suppose that $n+1$ users A_1, \dots, A_{n+1} want to share a private key among themselves. Each user A_i chooses a private non-zero key - a natural number λ_i , calculates and publishes the value $b^{\lambda_i} \in G$. Then each user A_i calculates the element

$$[x^{\lambda_1}, b^{\lambda_2}, \dots, b^{\lambda_{i-1}}, b^{\lambda_{i+1}}, \dots, b^{\lambda_{n+1}}] = [x, b, n]^\lambda, \quad (12)$$

where $\lambda = \lambda_1 * \dots * \lambda_{n+1}$.

This key is common to all users. We can provide cryptographic analysis. The efficient procedure described in the previous section allows you to calculate, for any value of b^{λ_i} , the parameter μ_i such that $b^{\lambda_i} = b^{\mu_i}$. It is enough to calculate one such value, say μ_{n+1} , and obtain a distributed key as:

$$[x^{\mu_{n+1}}, b^{\lambda_2}, \dots, b^{\lambda_{i-1}}, b^{\lambda_{i+1}}, \dots, b^{\lambda_{n+1}}] = [x, b, n]^\lambda. \quad (13)$$

Formally, the right side of equality (12) includes as an exponent the product $\lambda_1 \dots \lambda_{n+1}$. However, there is an integer $\lambda_{n+1} = \mu_{n+1} + \gamma\delta$, where γ is the order of the element b hence the commutator $[x, b; n]$ to the power γ is equal to 1, so replacing the factor λ_{n+1} with μ_{n+1} in the exponent λ does not change the element (12), i.e., the shared key.

Discussion

In the course of our research into the Kahrobaei method, we encountered a significant oversight: an assumption that the unitriangular matrix system would remain impervious to security breaches. However, this investigation yielded a startling revelation, underscoring the need for a more comprehensive understanding of the method's vulnerabilities. Within the framework of this scheme, plaintexts are meticulously encoded as elements residing within a finite field, while ciphertexts are artfully represented as elements within a finite abelian group. This dual representation is pivotal to the encryption process and its subsequent analysis. Delving further into the encryption process, it becomes evident that it encompasses a meticulously orchestrated sequence of multi-line cards. Each of these cards operates autonomously, employing its unique set of group elements to meticulously encrypt the plaintext. The crux of the method's security hinged on the intricate nature of computing discrete logarithms within the fundamental nilpotent group, a complex mathematical concept pivotal to the encryption protocol. However, a recent breakthrough in our research has unfurled a startling revelation - the integration of unitriangular matrices within the group of one-dimensional matrices, a fundamental component of Protocol II, renders the system susceptible to attacks premised on the efficient computation of unknown exponents. This vulnerability has been brought to the forefront due to a fascinating mathematical phenomenon: the capability to manipulate the exponentiation process, enabling the arbitrary

selection of values that ultimately yield the result of 1. In light of these revelations, it is abundantly clear that the security of this system is severely compromised. Addressing this vulnerability necessitates extensive research and development efforts to bolster its resilience against such attacks, ensuring the continued viability of the Kahrobaei method in the realm of encryption and data security. The discovery of vulnerabilities in the Kahrobaei method highlights the importance of thorough security analysis and ongoing research and development in the field of encryption and data security. It appears that the integration of unitriangular matrices within the group of one-dimensional matrices, as a part of Protocol II, has introduced a significant weakness in the system's security. Specifically, the manipulation of exponentiation processes leading to the arbitrary selection of values that result in 1 has the potential to compromise the confidentiality and integrity of encrypted data. To address these vulnerabilities and enhance the security of the Kahrobaei method, several steps should be taken.

1 In-Depth Analysis: Continue the investigation into the specific mathematical properties and algorithms that lead to these vulnerabilities. Understanding the underlying mathematical principles is essential to developing effective countermeasures.

2 Algorithm Modification: Consider modifying the encryption and decryption algorithms to mitigate the identified weaknesses. This may involve altering the way exponentiation is performed or introducing additional security measures.

3 Peer Review: Engage the cryptography community in peer review and collaboration. External experts can provide valuable insights, identify potential flaws, and suggest improvements.

4 Testing and Evaluation: Rigorously test the modified method against various types of attacks and scenarios to ensure that the vulnerabilities have been effectively addressed.

5 Documentation and Education: Clearly document the revised method and provide educational materials to users and implementers. Proper training and understanding of the security protocols are crucial for effective implementation.

6 Continuous Monitoring: Recognize that security is an ongoing process. Continuously monitor the method for new vulnerabilities and adapt to emerging threats.

7 Collaboration with Industry: Collaborate with industry partners to integrate the improved method into practical encryption systems and applications. Real-world deployment and feedback are essential for validation.

8 Legal and Ethical Considerations: Ensure that any changes made to the method comply with legal and ethical standards, especially if it is used in critical applications.

It is important to acknowledge that the field of cryptography is constantly evolving, and security is a never-ending challenge. The discovery of vulnerabilities, while concerning, provides an opportunity to strengthen the Kahrobaei method and make it more robust against emerging threats. By addressing these issues proactively and collaboratively, the method can continue to be a valuable tool in the realm of encryption and data security.

Conclusion

In conclusion, the vulnerability of a group of unitriangular matrices to an attack based on an efficient method of computing an unknown exponent m in a matrix equality poses a serious challenge to the security of the polylinear cryptosystem proposed by Kahrobaei et al. The solution of the discrete logarithm problem in a group of one-dimensional matrices is a crucial aspect of modern cryptography, and any weakness in this area can compromise the confidentiality and integrity of sensitive information. Therefore, it is essential to identify and address any vulnerabilities that exist in the cryptosystems to ensure that they remain secure against potential attacks. Further research is needed to develop more robust cryptographic techniques that can withstand these types of attacks and provide greater security for sensitive information.

The vulnerability of the polylinear cryptosystem using nilpotent groups highlights the need for ongoing research and development in the field of cryptography. As attackers continue to develop new and more sophisticated methods of attack, it is essential that cryptographers remain vigilant and continue to improve the security of their systems.

One potential avenue for addressing this vulnerability is to explore alternative cryptographic primitives that are resistant to the type of attack demonstrated in this research. For example, there may be other types of groups that are resistant to this particular type of attack, or other mathematical structures that can be used to secure communications.

Another important consideration is the implementation of best practices in cryptographic engineering.

Cryptographic algorithms are only as secure as their implementations, and even the most robust algorithm can be compromised if implemented incorrectly. Therefore, it is crucial that cryptographic systems are implemented with the utmost care and attention to detail, and that they are subject to rigorous testing and verification.

References:

- 1 Boneh D., Silverberg A. Applications of multilinear forms to cryptography // *Contemporary Mathematics*. 2003. Vol. 324. American Mathematical Society. P. 71–90.
- 2 Lin H., Tessaro S. Indistinguishability obfuscation from trilinear maps and Block-Wise local PRGs CRYPTO'2017. 37th Annual International Cryptology Conference, Santa Barbara, CA, USA, August 20–24, 2017, Pro-Proceedings, Part I. P. 630–660.
- 3 Huang M.A. Trilinear maps for cryptography. Preprint: arXiv Math. 1810.03646v6 [cs. CR] 6 Feb. 2019. 19 p.
- 4 Mahalanobis A., Shinde P. Cryptography using groups of nilpotency class 2 // *Cryptography and coding.*, 16th IMA International Conference, IMACC. 2017, Oxford, UK (2017). P. 127–134 https://www.researchgate.net/publication/321502104_Cryptography_and_Coding_16th_IMA_International_Conference_IMACC_2017_Oxford_UK_December_12-14_2017_Proceedings
- 5 Kahrobaei D., Tortora A., Tota M. Multilinear cryptography using nilpotent groups. Preprint: arXiv Math.1902.08777v1 [cs.CR] 23 Feb. 2019. 8 p. https://eprints.whiterose.ac.uk/157905/8/9783110638387_Elementary_Theory_of_Groups_and_Group_Rings_and_Related_Topics_Multilinear_cryptography_using_nilpotent_groups.pdf
- 6 Kargapolov M. I., Merzlyakov Yu. I. Basic theory group. M. : Nauka, 2018. 126-134 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36517704>
- 7 Romankov V. A., Hisamiev N. G. Nilpotent groups: course lecture. Ust-Kamenogorsk: Izd-vo VKGTU, 2013. 47 p.
- 8 Romankov V. A. Introduction to cryptography: course lecture. M. : Forum, 2012. 239 p.
- 9 Romankov V. A. Cryptographic analysis of an analogue of the Diffie-Hellman scheme, using the Generation and elevation in degrees, on the matrix platform // *Applied discrete mathematics*. Attached what 2014. No. 7. S. 56–58.
- 10 Romankov V. A. Embedding theorems for nilpotent groups // *Sib. dear journal*. 2012. Vol. 13, No.4. S. 859–867. <https://www.imo.universite-paris-saclay.fr/~emmanuel.breuillard/Balls.pdf>

МРНТИ 28.23
УДК 519.6

10.51889/2959-5894.2023.83.3.015

Б.К. Асилбеков^{1,2*}, Н.Е. Қалжанов³, Д.Ә. Болысбек^{1,3}, К.Ш. Узбекалиев¹

¹Сәтбаев Университет, г. Алматы, Қазақстан

²ТОО «KVTU BIGSoft», г. Алматы, Қазақстан

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Қазақстан

*e-mail: assilbekov.b@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Аннотация

Проницаемость является важным свойством пористой среды, и ее определение является актуальной задачей. В статье изучается эффективность алгоритмов машинного обучения, такие как RF, GB, SV, Lasso, k-NN и GP, при прогнозировании проницаемости различных пород. В качестве признаков использованы радиус пор, радиус горловины, координационное число, пористость, удельная площадь поверхности, извилистость и проницаемость. Было изучено влияние соотношения обучающего и тестового набора данных (70/30 и 80/20) и количества признаков на производительность алгоритмов. Результаты показали, что алгоритм RF являлся наиболее подходящим для прогнозирования проницаемости с высокой достоверности. Наибольший коэффициент достоверности прогноза составил $R^2=0.83$, и он был получен при использовании 5 признаков. Алгоритм GB также показал хорошую прогнозирующую способность проницаемости, хотя он выбирал практически одного признака (пористости) как важным. Наибольший коэффициент для него составил $R^2=0.73$ при 80/20. Результаты также показали, что все алгоритмы, кроме RF, предсказали существенно завышенные минимальные проницаемости. А также, все алгоритмы, кроме SV и k-NN, предсказали среднее значение проницаемости с наименьшими погрешностями.

Ключевые слова: машинное обучение, прогноз проницаемости, микрокомпьютерная томография, мини-образец, поромасштабное моделирование.

Аңдатпа

Б.К. Асилбеков^{1,2}, Н.Е. Қалжанов³, Д.Ә. Болысбек^{1,3}, К.Ш. Узбекалиев¹

¹Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан

²«KVTU BIGSoft» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ӘРТҮРЛІ ТАУ ЖЫНЫСЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚУ АЛГОРИТМДЕРІНІҢ ТІІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Өткізгіштік кеуекті орталардың маңызды қасиеті болып табылады, ал оны анықтау актуалды мәселе болып табылады. Бұл жұмыста әртүрлі тау жыныстарының өткізгіштігін болжауда RF, GB, SV, Lasso, k-NN және GP сияқты машиналық оқыту алгоритмдерінің тиімділігі зерттеледі. Белгілер ретінде кеуек радиусы, кеуек мойнының радиусы, координация саны, кеуектілік, беттің меншікті ауданы, бұралу және өткізгіштік қолданылды. Оқу және тестілеу деректер жинағының арақатынасының (70/30 және 80/20) және белгілер санының алгоритмдердің өнімділігіне әсері зерттелді. Нәтижелер RF алгоритмі өткізгіштікті жоғары сенімділікпен болжау үшін ең қолайлы екенін көрсетті. Болжаудың ең жоғары сенімділік коэффициенті $R^2=0.83$ болды және ол 5 белгі үшін алынды. GB алгоритмі де өткізгіштік үшін жақсы болжау қабілетін көрсетті, дегенмен ол тек бір белгіні ғана (кеуектілікті) маңызды деп тапты. Ол үшін ең жоғары коэффициент 80/20 кезінде $R^2=0.73$ болды. Нәтижелер сонымен қатар RF алгоритмінен басқа барлық алгоритмдер өткізгіштіктің төмен мәндерін айтарлықтай асыра болжағанын көрсетті. Сондай-ақ, SV және k-NN алгоритмінен басқа барлық алгоритмдер өткізгіштіктің орташа мәнін ең аз қателермен болжады.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, өткізгіштікті болжау, микрокомпьютерлік томография, мини-үлгілер, кеуекті масштабта модельдеу.

Abstract

STUDY OF THE EFFICIENCY OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS BASED ON DATA OF VARIOUS ROCKS

Assilbekov B.K.^{1,2}, Kalzhanov N.E.³, Bolysbek D.A.^{1,3}, Uzbekaliyev K.Sh.¹

¹*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

²*JSC «KBTU BIGSoft», Almaty, Kazakhstan*

³*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

Permeability is an important property of porous media, and its determination is relevant. This paper studies the effectiveness of machine learning algorithms (RF, GB, SV, Lasso, k-NN and GP) in permeability prediction. Pore and throat radius, coordination number, porosity, specific surface area, tortuosity and permeability were used as features. The influence of the training and testing dataset ratios and the number of features on the algorithm's performance was studied. The results showed that the RF was the most suitable for predicting permeability with high confidence. The highest R^2 was 0.83, and it was obtained for 5 features. GB also showed good predictive ability, although it selected only porosity as important feature. The highest R^2 for it was 0.73 at 80/20. The results also showed that all algorithms except RF significantly overpredicted low permeabilities. And also, all algorithms, except SV and k-NN, predicted the average permeability value with the smallest errors.

Keywords: machine learning, permeability prediction, microcomputed tomography, sub-sample, pore-scale modeling.

Введение

Абсолютная проницаемость является важной макроскопической транспортной характеристикой пористой среды, от которой зависят добыча углеводородов при разработке месторождений, производительность фильтров при очистке воздуха в помещениях, сепарации газожидкостных систем и в каталитических системах и т.д. Проницаемость обычно определяют в лабораторных условиях экспериментальным путем с помощью специальных оборудований. Лабораторные измерения обычно длятся не мало времени и являются дорогостоящими. Поэтому ее определение альтернативными путями на основе имеющихся аналитических и экспериментальных данных о пористой среде является актуальной задачей.

С развитием методов машинного обучения, они стали применяться для анализа данных и прогнозирования важных характеристик во многих сферах таких как медицина [1], экономика [2, 3], геофизика [4-6] и т.д. При прогнозировании абсолютной проницаемости используют изображения реальных горных пород или синтетических пористых сред, полученные с помощью микрокомпьютерной томографии [5, 7, 8] и цифровых данных, извлеченные тем или иным способом из этих изображений [9, 10]. А также используются каротажные данные скважин для прогнозирования абсолютной проницаемости [6, 11].

Двумерные изображения синтетических пористых сред в совмещении с решеточным методом Больцмана использованы для прогнозирования пористости, извилистости и абсолютной проницаемости в работе [7]. Синтетические пористые среды получены путем случайного распределения квадратных частиц, означающие твердого скелета породы, в квадратной области. Авторы использовали сверточные нейронные сети для определения взаимосвязи между структурой и основными характеристиками синтетической пористой среды. А с помощью решеточного метода Больцмана находили поля течения для дальнейшего вычисления извилистости и проницаемости. Они утверждали, что сверточные нейронные сети показали высокую прогнозирующую способность основных характеристик. Подобное исследование проведено в [8], где было также сказано, что сверточные нейронные сети показали высокую производительность в прогнозировании абсолютной проницаемости. Тембли и др. [5] использовали изображения свыше 1000 образцов горной породы, отсканированные с помощью микрокомпьютерной томографии с высоким пространственным разрешением, для построения прогнозной модели проницаемости на основе методов машинного обучения и глубокого обучения. Они показали, что модели проницаемости на основе методов машинного обучения и глубокого обучения предсказали проницаемость с достоверностью 88 и 91%, соответственно. А также показали, что использование методов искусственного интеллекта позволяет сократить времени расчета проницаемости на три порядка по сравнению с традиционными методами. Прогнозирование абсолютной проницаемости породы на основе каротажных данных скважины с использованием методов машинного обучения приведены в [6, 11].

В настоящей статье изучается прогноз абсолютной проницаемости на основе данных различных пород, истинная проницаемость которых сильно отличается от их среднестатистической

проницаемости. Анализ литератур показало, что при исследованиях эффективности методов машинного обучения, в основном использованы данные синтетических пористых сред и реальных горных пород с несильно изменяющимися характеристиками. При изучении рассматривались 6 методов машинного обучения, эффективность которых была изучена при разных соотношения обучающего и тестового набора данных.

Материалы и методы

Материалы

Как правило, методы машинного обучения используют набор данных с различными признаками в качестве входных данных. С этой целью были подготовлены цифровые модели 266 мини-образцов из готовых моделей различных пород. Каждый мини-образец имеет 7 характеристик в качестве признака (входных) данных. Готовые цифровые модели большего размера 8 различных реальных горных пород и 1 искусственной породы (упакованная из частиц песка) были взяты из библиотеки исследовательской группы профессора М. Бланта из Имперского Колледжа Лондона с открытым доступом, которые показаны на рис. 1. Отметим, что вышесказанные цифровые модели уже были отфильтрованы и отсегментированы. Как видно из рис. 1 поровое пространство песчаных пород образованы пустотами между гранул песка и имеют более однородное распределение по всему образцу по сравнению с строениями карбонатных пород. Эти модели были получены в результате сканирования пород с помощью микрокомпьютерного томографа с пространственным разрешением около 3 мкм.

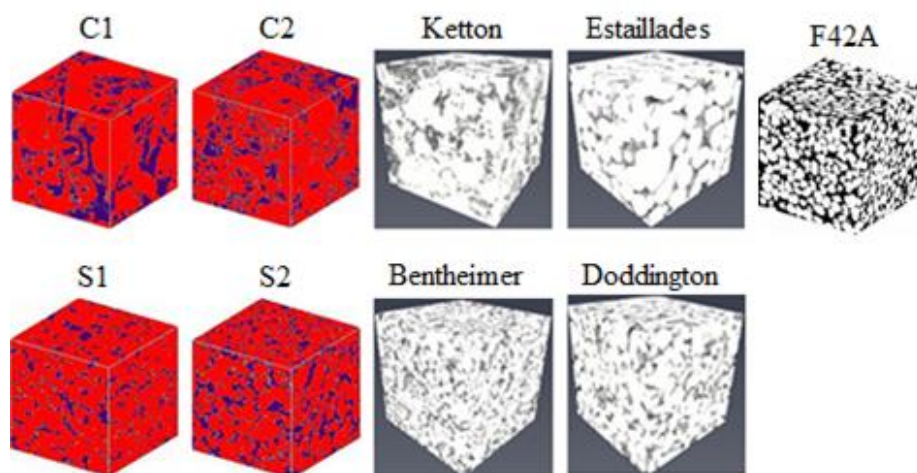


Рисунок 1. Цифровые модели образцов различных пород

С целью увеличения количества входных данных в методы машинного обучения, полученные цифровые модели пород были разделены на разные куски (мини-образцы) меньшего размера (см. рис. 2). Таким образом, всего было подготовлено 266 мини-образцов размеры которых меняется от 0,125 мм до 3 мм.

Проницаемость мини-образцов приведена в табл. 1. Как видно из этой таблицы, рассмотренные образцы имеют существенно отличающаяся проницаемость. Отдельно можно выделить образец упакованного песчаника, который имеет относительно высокую проницаемость. Как видно из табл. 1, карбонатные породы имеют относительно неоднородная и низкая проницаемость по сравнению с песчаными породами. Сравнение минимального, максимального и среднего значения проницаемости говорить, что в карбонатные мини-образцы в основном имеют проницаемость, близкая к минимальной, тогда как песчаные мини-образцы кроме Bentheimer и Doddington имеют более однородные распределения проницаемости. А мини-образцы песчаной упаковки F42A практически имеют одинаковую проницаемость.

Таблица 1. Проницаемость мини-образцов

Образец/ тип породы	Карбонатный				Песчаный				Песчаная упаковка
	C1	C2	Ketton	Estailades	S1	S2	Bentheimer	Doddington	F42A
Минимум	0,097	0,012	0,0033	0,0019	0,45	1,81	0,04	0,001	7,42
Максимум	4,95	4,24	16,05	85,4	3,59	7,84	15,1	9,24	104,3
Среднее	1,65	0,87	3,08	4,09	1,36	4,44	2,53	2,16	66,0

Основным и сложным этапом всего процесса был сбор данных из уже подготовленных мини-образцов, так как большинство параметров пористой среды, такие как средний радиус пор, средний радиус горловины пор, средняя извилистость, среднее координационное число и абсолютная проницаемость, будут найдены только при моделировании течения жидкости сквозь эти пористые среды. Набор данных содержит пористость (ϕ), средний радиус пор (r_p , в мкм), средний радиус горловины пор (r_t , в мкм), извилистость (τ), координационное число (N_c), удельную площадь поверхности пор (S_s , в $1/\text{мкм}$) и абсолютную проницаемость (k , в мкм^2) для каждого мини-образца. В настоящей работе течение жидкости в пористых средах было смоделировано при помощи поросетевого моделирования с использованием специального программного обеспечения Avizo, в процессе которого сначала строится поровая сеть микроструктуры мини-образцов горных пород на основе выделенного порового пространства (рис. 3), затем на ней будет смоделировано течение самой жидкости на основе закона сохранения массы.

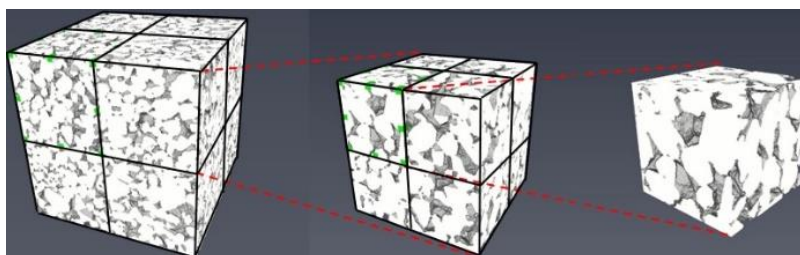


Рисунок 2. Разбиение образцов на более мелкие мини-образцы

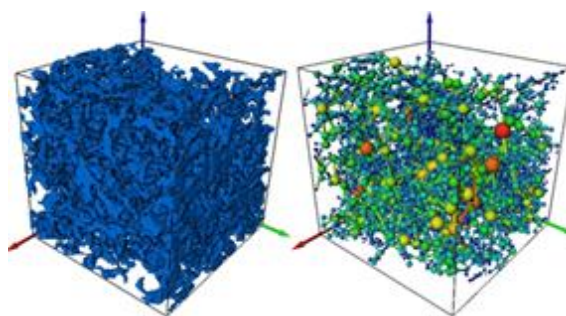


Рисунок 3. Поровое пространство и поровая сеть мини-образца

Поровая сеть – это совокупность отдельных пор и горловин пор, которые в свою очередь представляются в виде сфер и цилиндров. Построение поровой сети основано на алгоритме максимальных шаров, в котором поры заменяются сферами, а горловины пор – цилиндрами. Соответственно, радиусы сфер и цилиндров являются радиусами пор и горловины пор. Поровая сеть дает информацию о распределении пор и горловины пор по их размерам, соответственно мы можем найти средние радиусы пор и горловины пор. Поровая сеть также позволяет определить количество связей конкретной поры с другими соединенными с ней порами, а значит это дает о координационном числе сети. Удельная площадь поверхности пор является одним из важных параметров пористой среды, так как она влияет на абсолютную проницаемость и степени растворения породы разными кислотными составами.

Основным макроскопическим параметром пористой среды является ее проницаемость – она показывает способность пористой среды пропускать через себя жидкости и зависит от многих факторов, такие как пористость, извилистость, удельная площадь поверхности пор и т.д. Но, до сих пор конкретно не установлено какие параметры больше всего влияют на нее. Абсолютная проницаемость среды определяется по закону Дарси. С цифровой модели каждого мини-образца были извлечены 7 его параметров, такие как средний радиус пор, средний радиус горловины пор, извилистость, координационное число и абсолютная проницаемость которые приведены на рис. 4. В таблице на рис. 3 каждая строка означает набор данных из 7 параметров (не включая наименование) для каждого мини-образца. Эти данные являются исходной информацией при их анализе с помощью методов машинного обучения. Этот набор данных имеет целевую переменную: 'k' и входные переменные: 'r_p', 'N_c', 'r_t', 'φ', 'S_s', 'τ'. Статистика характеристик использованных мини-образцов приведена в табл. 2.

1	Наименование образца и его кусков	Средний радиус пор [мкм]	Среднее координационное число	Средний радиус горловины пор [мкм]	Средняя пористость	Удельная площадь поверхности [1/мкм]	Извилистость	Проницаемость [мкм ²]
3	Full Size C1	31,382	5,00	15,064	0,21	0,0503	1,809	1,27736824300
4	C1-1	18,235	4,29	10,160	0,14	0,0234	1,596	0,09680006031
5	C1-2	19,583	5,08	11,921	0,23	0,0265	1,779	4,05577314400
6	C1-3	19,745	2,81	13,590	0,16	0,0250	2,053	0,38747577120
7	C1-4	30,996	4,03	14,737	0,17	0,0234	1,569	0,72855039900
8	C1-5	29,190	3,69	14,091	0,19	0,0248	1,337	1,06907533700
9	C1-6	30,269	4,52	13,718	0,26	0,0301	1,675	0,74851358560
10	C1-7	21,431	4,82	11,523	0,18	0,0251	1,800	1,50289427500
11	C1-8	34,897	5,10	17,082	0,33	0,0334	1,646	4,95092404800
12	Full Size C2	47,434	4,13	20,461	0,14	0,0138	1,888	0,08093792610
13	C2-1	35,080	3,50	17,130	0,24	0,0181	1,693	0,23001029520

Рисунок 4. Набор данных с цифровых моделей мини-образцов

Таблица 2. Статистика характеристик мини-образцов

Наименование параметра	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
r _p (мкм)	11,70	188,32	77,33	26,73
N _c	1,71	7,48	4,13	1,18
r _t (мкм)	10,11	73,85	27,27	11,08
φ	0,02	0,34	0,19	0,067
S _s (1/мкм)	0,0014	0,050	0,013	0,005
τ	1,05	2,66	1,51	0,19
k (мкм ²)	0,001	104,3	9,38	21,98

Методы исследования

При изучении данных применялись такие методы как алгоритм случайного леса, повышения градиента, опорных векторов, ЛАССО, К-ближайших соседей, гауссовского процесса.

Метод случайного леса (Random Forest, RF) – это алгоритм машинного обучения, основанный на ансамбле решающих деревьев. В данном методе каждое дерево решает задачу независимо от других деревьев, в конце ответы всех деревьев усредняются. RF использует множество параметров для управления оптимизацией решением такие как n_estimators, max_depth, max_features и т.д. [11]. Используемые в настоящей работе их значения приведены в табл. 3. Мы подбирали наилучшие параметры для этого метода используя библиотеку GridSearchCV [12], которая поможет упростить перебор параметров.

Первым важным параметром в методе RF является n_estimators – означающее количество деревьев, чем больше деревьев, тем лучше качество, но время настройки и работы RF также пропорционально увеличиваются. Вторым важным параметром является max_features при увеличении которого увеличивается время построения леса, а деревья становятся «более однообразными». Третий параметр – max_depth (глубина дерева) при увеличении которого резко возрастает качество обучения. При использовании неглубоких деревьев (т.е. при малых max_depth) изменение параметров, связанных с ограничением числа объектов в листе и для деления, не приводит к значимому эффекту.

Таблица 3. Методы и их параметры управления

Метод	Параметры управления	Значение
Случайного леса	<i>max_depth</i>	41
	<i>max_features</i>	1
	<i>n_estimators</i>	15
	<i>bootstrap</i>	True
	<i>criterion</i>	MSE
Повышения градиента	<i>n_estimators</i>	19
	<i>learning_rate</i>	0.9
	<i>max_depth</i>	1
	<i>criterion</i>	<i>friedman_mse</i>
Опорных векторов	<i>kernel</i>	<i>linear</i>
	<i>epsilon</i>	0.5
	<i>C</i>	10
	<i>gamma</i>	<i>1e-07</i>
ЛАССО	<i>alpha</i>	0.01
	<i>max_iter</i>	11
К-ближайших соседей	<i>n_neighbors</i>	86
	<i>p</i>	1
	<i>weights</i>	<i>distance</i>
Гауссовского процесса	<i>alpha</i>	0.001
	<i>kernel</i>	<i>DotProduct (sigma_0=0.1)</i>

Метод повышения градиента (Gradient Boosting, GB) – это метод преобразования слабообученных моделей в хорошообученные. Этот метод основан на минимизацию функции потери с помощью градиентного спуска [12]. Из-за схожести с методом случайного леса, данный метод имеет практически такие же параметры управления как в методе случайного леса. Параметры управления и их значения приведены в табл. 3.

Метод (регрессор) опорных векторов (Support Vector, SV) является версией метода опорных векторов для использования в задачах регрессии. Данный регрессор основан на нахождение непрерывной (линейной или нелинейной) функции, которая максимально аппроксимирует входные данные внутри заданной трубки с достаточно малым диаметром на основе опорных векторов [4]. Данный метод также имеет свои параметры управления, которые приведены в табл. 3.

ЛАССО (Lasso) – метод, изначально предназначенный для линейной регрессии, который обеспечивает выбора переменной и регуляризацию для повышения точность прогноза. Параметры управления данного метода приведены в табл. 3.

Метод К-ближайших соседей (k-Nearest Neighbors, k-NN) – метод решения задач классификации и регрессии, основанный на поиске ближайших объектов с известными значениями целевой переменной.

Регрессия гауссовского процесса (Gaussian Process, GP) является универсальным непараметрическим методом обучения с учителем, разработанным для решения *регрессии* [13]. Алгоритмы Lasso, k-NN и **GP** рассматриваются в целях сравнения результатов прогноза с помощью других алгоритмов с их результатами.

Результаты и их обсуждения

Собранные данные были анализированы с помощью вышеприведенных методов машинного обучения. Сначала покажем связей между признаками (параметрами пористых сред), которая визуализирована в виде корреляционной матрицы (рис. 5). Данная матрица показывает насколько хорошей или плохой связи имеют каждая пара признаков – чем больше коэффициент в матрице, тем выше корреляция между выбранными признаками. Коэффициент, равный 1 означает идеальную корреляцию. Для отображения корреляционной матрицы использовали библиотеку *seaborn*. *Seaborn* – это, по сути, более высокоуровневое API на базе библиотеки *matplotlib*. *Seaborn* содержит более адекватные настройки оформления графиков по умолчанию. Также в библиотеке есть достаточно сложные типы визуализации, которые в *matplotlib* потребовали бы большего количества кода. Как видно из рис. 5, все входные переменные (признаки), кроме удельной площади поверхности и извилистости, имеют высокую корреляцию с целевой переменной.

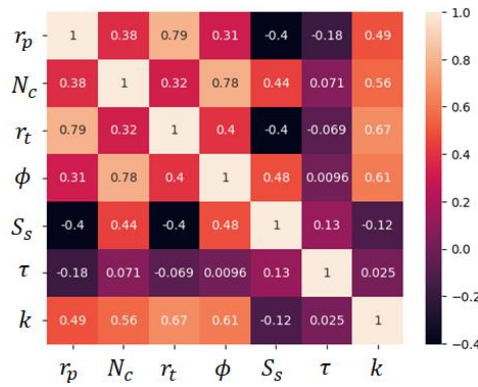


Рисунок 5. Корреляционная матрица для визуализации связей между признаками

Влияние разделения данных на обучение/тест на производительность алгоритмов

После того как выбрали алгоритма машинного обучения, первоочередной задачей является определение списка входных данных (признаков), которые являются наиболее важными при построении прогнозной модели [14]. Для этого у каждого алгоритма есть свойство `feature_importances_`, с помощью которого можно посмотреть вес (важность) каждого признака в итоговой прогнозной модели. Важность разделения набора входных данных на обучения и тестирования заключается в том, что обучающий набор содержит известные выходные данные, на которых модель учится. В настоящей статье набор данных был разделен в соотношении 70/30 и 80/20.

Результаты прогнозирования проницаемости по рассмотренным выше алгоритмам машинного обучения приведены на рис. 6-8 и табл. 4. Рис. 6 показывает какие из 6 независимых входных данных были выбраны наиболее важными при построении прогнозной модели проницаемости по разным алгоритмам машинного обучения. Отметим, что в целях сравнения здесь и далее важность признака нормализована по максимальному значению важности для каждого алгоритма. Как показывают диаграммы, алгоритмы RF, SV и GP оказались устойчивыми на изменение доли обучающего набора данных – при использовании этих алгоритмов количество важных признаков и их важность практически не менялись. RF и GP выбрали важными 5 из 6 признаков, тогда как SV посчитал наиболее важным всего 2 признаков. Увеличение доли обучающего набора данных существенно повлияло на выбор важных признаков алгоритмами Lasso и k-NN. Если алгоритм Lasso при 70/30 выделил всего 2 признака важным, то для 80/20 важных признаков увеличилось до 5, а для k-NN количество важных признаков увеличилось с 3 при 70/30 до 6 для 80/20. Все это показывает чувствительность рассмотренных алгоритмов к количеству обучающих данных.

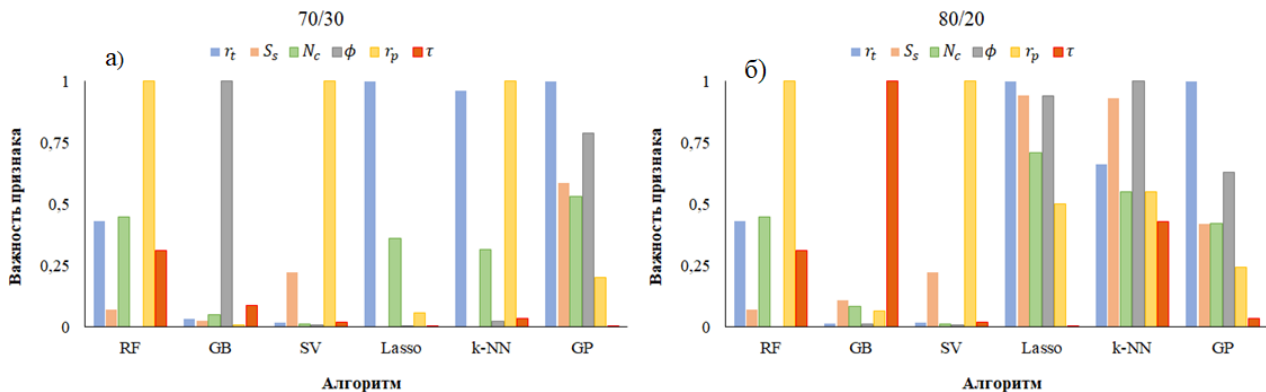


Рисунок 6. Важность признака при разбиении данных в соотношении 70/30 (а) и 80/20 (б)

После того как рассмотренные алгоритмы были обучены проверили их прогнозирующую способность на тестовых данных путем сопоставления их результатов с истинными данными. Результаты сопоставления показаны на рис. 7, где символы разной формы соответствуют разным алгоритмам, а сплошная линия означает идеальную корреляцию между предсказанным и истинным

значениями проницаемости. Здесь и далее, на всех графиках на оси абсцисс и ординат расположены истинная и модельная проницаемости, соответственно.

Как видно из графиков, все алгоритмы машинного обучения предсказали завышенные значения проницаемости, особенно в диапазоне $<1 \mu\text{m}^2$, а среднее и максимальное значения ложатся близко к линии 1:1, что показывает близкое к истинным значениям прогноза проницаемости с помощью построенных моделей прогноза (рис. 7а-г). Аль-Халифа и др. [9] при изучении карбонатных пород также обнаружили, что качество прогноза методами машинного обучения снижается при низких значениях проницаемости. При увеличении доли обучающего набора данных, практически все алгоритмы предсказали значения проницаемости, которые относительно близко находятся к линии 1:1 при 80/20 (рис. 7в, г) по сравнению с случаем 70/30 (рис. 7а, б). Это подтверждается рис. 8, где приведено количественное сравнение прогнозирующей способности рассмотренных алгоритмов машинного обучения в виде коэффициента корреляции (R^2) между предсказанной и истинной проницаемостями. Как заметно из этого рисунка, корреляция между предсказанной и истинной проницаемостями улучшилась для всех алгоритмов с ростом количества обучающего набора данных.

Относительно высокие коэффициенты корреляции наблюдались у GP (0,75), Lasso (0,77) k-NN (0,784), тогда как для остальных алгоритмов данный коэффициент составил 0,687, 0,723 и 0,732, соответственно для SV, RF и GB. Очевидно, что чем больше коэффициент R^2 , тем выше достоверность прогноза, т.е. предсказанная проницаемость ближе к истинной проницаемости. Хотя все алгоритмы предсказали проницаемости, которые высоко коррелируют с истинной проницаемостью, некоторые алгоритмы предсказали отрицательные проницаемости, что неприемлемо. В табл. 4 приведены минимальное, максимальное и среднее значения истинной проницаемости и проницаемости, предсказанные с помощью рассмотренных алгоритмов машинного обучения. Как видно из табл. 4, при прогнозе с помощью алгоритмов SV, Lasso и GP были получены отрицательные минимальные проницаемости. Юн [3] также получил отрицательные значения по алгоритму GB при прогнозе ВВП Японии за 2001-2018 годы. Хотя при помощи GB и k-NN получились положительные значения, они на три порядка выше истинного минимального значения. Самое близкое значение к истинному получилось только у алгоритма RF для обоих случаев разбиения набора входных данных.

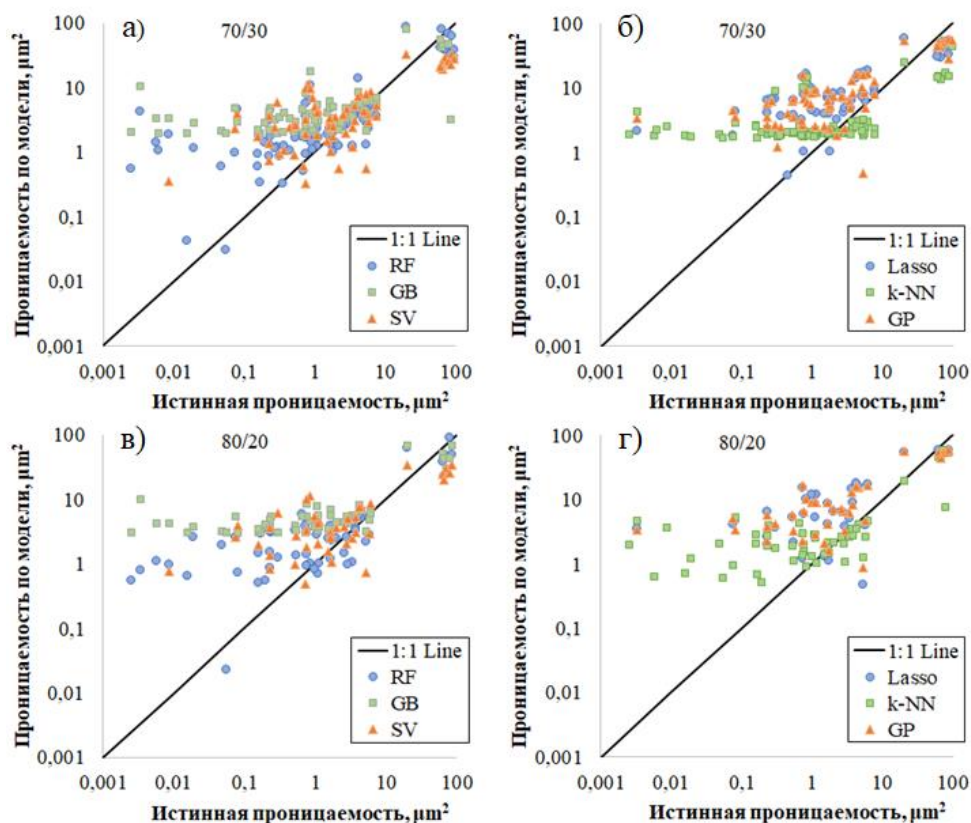


Рисунок 7. Прогнозируемая с помощью разных алгоритмов проницаемость в сравнении с истинной проницаемостью при разбиении данных в соотношении 70/30 (а) и 80/20 (б)

Таблица 4. Статистика предсказанных проницаемостей при 70/30 и 80/20

Параметр	Обучение/Тест	Истинная	RF	GB	SV	Lasso	k-NN	GP
Минимум	70/30	0,00249	0,03128	1,94	-10,95	-16,37	1,66	-17,10
	80/20	0,00249	0,02273	3,03	-10,79	-16,32	0,52	-18,27
Максимум	70/30	95,91	87,81	80,94	33,44	58,44	51,63	56,39
	80/20	87,07	91,15	68,40	34,18	59,12	58,35	59,36
Среднее	70/30	9,31	8,22	7,96	4,59	7,64	5,57	8,18
	80/20	8,37	7,72	9,78	4,65	8,60	6,30	8,33

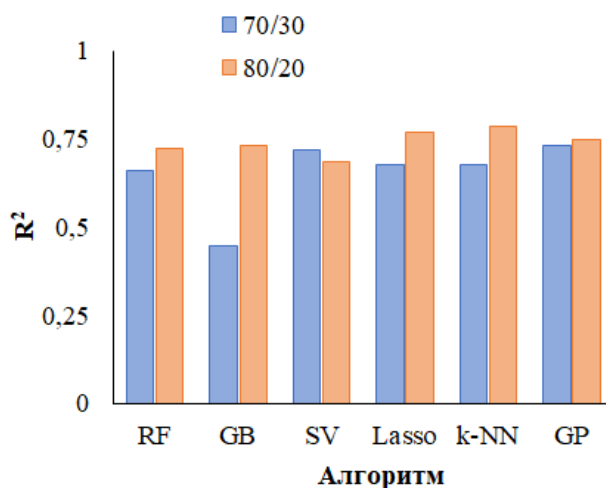


Рисунок 8. Коэффициент достоверности прогноза проницаемости на тестовых данных при разбиении данных в соотношении 70/30 (синие столбцы) и 80/20 (оранжевые столбцы)

Максимальная проницаемость, предсказанная по алгоритмам SV, Lasso, k-NN и GP имеет существенную разницу от истинной проницаемости. Алгоритм GB предсказал проницаемость, которая находится в пределах 20% погрешности от истинной. Максимальная проницаемость, предсказанная по алгоритму RF, достаточно близко находится к истинной проницаемости, относительная погрешность прогноза составляет 8,5 и 4,5%, соответственно при 70/30 и 80/20. Все алгоритмы кроме SV и k-NN предсказали близкие к истинной проницаемости. Это может быть связано с тем, что методы машинного обучения в основном базируются на статистике данных, которые достоверно предсказывают средние значения.

Влияние количества признаков на производительность алгоритмов

А также алгоритмы были обучены на наборе данных, в которых количества признаков менялись от 3 до максимального (т.е. до 6), и составили $\{r_p, N_c, r_t\}$ (3 признака), $\{r_p, N_c, r_t, \phi\}$ (4 признака), $\{r_p, N_c, r_t, \phi, S_s\}$ (5 признаков) и $\{r_p, N_c, r_t, \phi, S_s, t\}$ (6 признаков), соответственно. При этом соотношение обучающего и тестового набора данных не менялось и составило 70/30 во всех случаях. Целью изменения количества признаков в наборе входных данных является проверка чувствительности модели прогноза проницаемости к количеству независимых переменных, от которых проницаемость могла иметь функциональную зависимость. Очевидно, что было бы лучше если проницаемость будет рассчитана по формуле (модели), которая использует минимальные, но важные параметры (признаки) при этом не теряя точность. Например, эмпирическая формула Козени-Кармана [15], которая позволяет найти абсолютную проницаемость, использует всего лишь три признака (пористость, удельная площадь поверхности и извилистость) и одной параметрической константы.

Какие признаки были выбраны рассмотренными алгоритмами машинного обучения при изменении их количество показаны на рис. 9. Как заметно из этого рисунка, алгоритмы SV, Lasso и k-NN выбрали одни и те же признаки хотя их количество было разным в каждом случае (рис. 9в, г, д). При этом

важность выбранных признаков практически была одинакова. Остальные алгоритмы постарались выбрать практически всех признаков, когда их общее количество менялось (рис. 9а, б, е). Кроме того, важность этих признаков были разными у алгоритмов RF, GB и GP. GP выбрал в качестве самого важного признака среднего радиуса горловины пор r_t не зависимо от количества признаков, а важность остальных признаков была заметна с ростом количества признаков (рис. 9е). А алгоритм GB считал, что наиболее важным признаком является пористость мини-образца ϕ (рис. 9б). В случае с RF наиболее важными признаками считались пористость ϕ и координационное число N_c (рис. 9а).

Распределение предсказанной проницаемости по разным алгоритмам в сравнении с ее истинным значением показано на рис. 10. Можно сказать, что все алгоритмы предсказали визуально близкие к истинному значению проницаемости. Однако, для всех алгоритмов характерно завышенное предсказанные минимальные проницаемости, а максимальное и среднее значения были существенно близко прогнозированы к истинной проницаемости (распределение значений вокруг сплошной линии). Среди всех алгоритмов, RF предсказал наиболее близкие к истинной проницаемости в диапазоне минимальных проницаемостей ($0,001-1 \mu\text{m}^2$). Как видно из рис. 10, с ростом количества признаков, предсказанная проницаемость по алгоритмам RF (синие круги на рис. 10а, в, д и ж) и GP (оранжевые треугольники на рис. 10б, г, е и з) сблизилась к истинной проницаемости, так как эти методы выбрали наибольшее количество важных признаков (рис. 9а, е).

Параметр, характеризующий насколько хорошо или плохо спрогнозировал проницаемость мини-образцов тот или иной алгоритм показан на рис. 11. На этом рисунке распределены коэффициенты достоверности прогноза, когда количество признаков в наборе входных данных растет. А в табл. 5 приведены минимальное, максимальное и среднее значения проницаемости, полученные с помощью рассмотренных алгоритмов машинного обучения в зависимости от количества важных признаков.

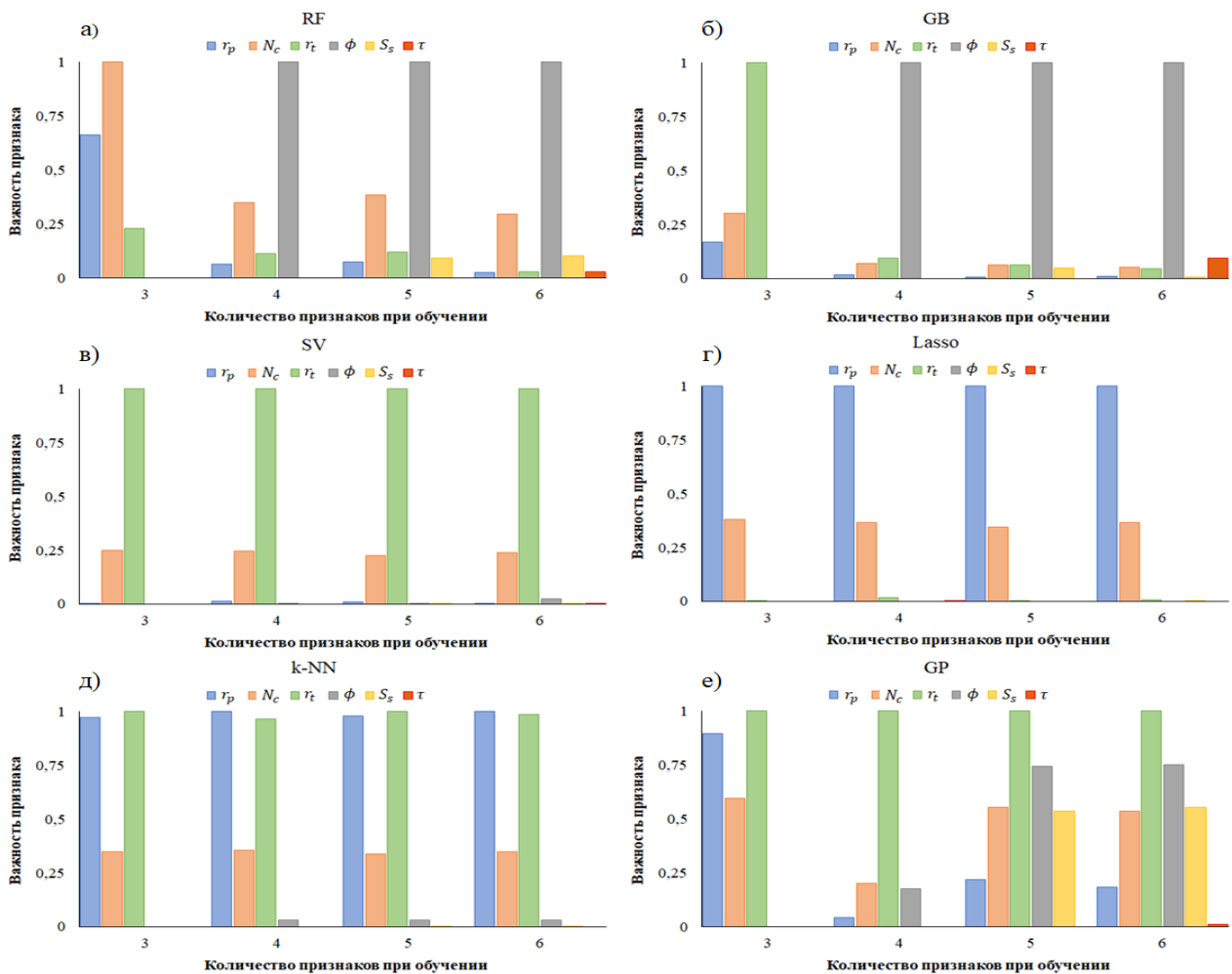


Рисунок 9. Важность признака при их различном количестве в наборе данных для разных алгоритмов машинного обучения

Как заметно на рис. 11, у алгоритмов SV, Lasso и k-NN коэффициент достоверности прогноза практически не изменился с ростом количества признаков в наборе входных данных хотя значение этого коэффициента не низкий. Это связано с выбором практически одинаково количества признаков по их важности (см. рис. 9в, г, д). С другой стороны, R^2 у остальных алгоритмов имеет чувствительность к изменению количества важных признаков. У алгоритмов RF и GP имеется тенденция роста R^2 с ростом количества признаков, т.е. эти алгоритмы точнее предсказывают значения проницаемости при включении большего свойств мини-образцов в набор входных данных. А у алгоритма GB наоборот ухудшается качество прогноза с увеличением количества входных признаков. Это может быть связано с тем, что данный алгоритм считал важным разные признаки при их различном количестве (рис. 9б). Также отметим, что максимальный коэффициент достоверности прогноза $R^2=0,83$ был достигнут при использовании алгоритма RF, и это было получено при 5 признаках.

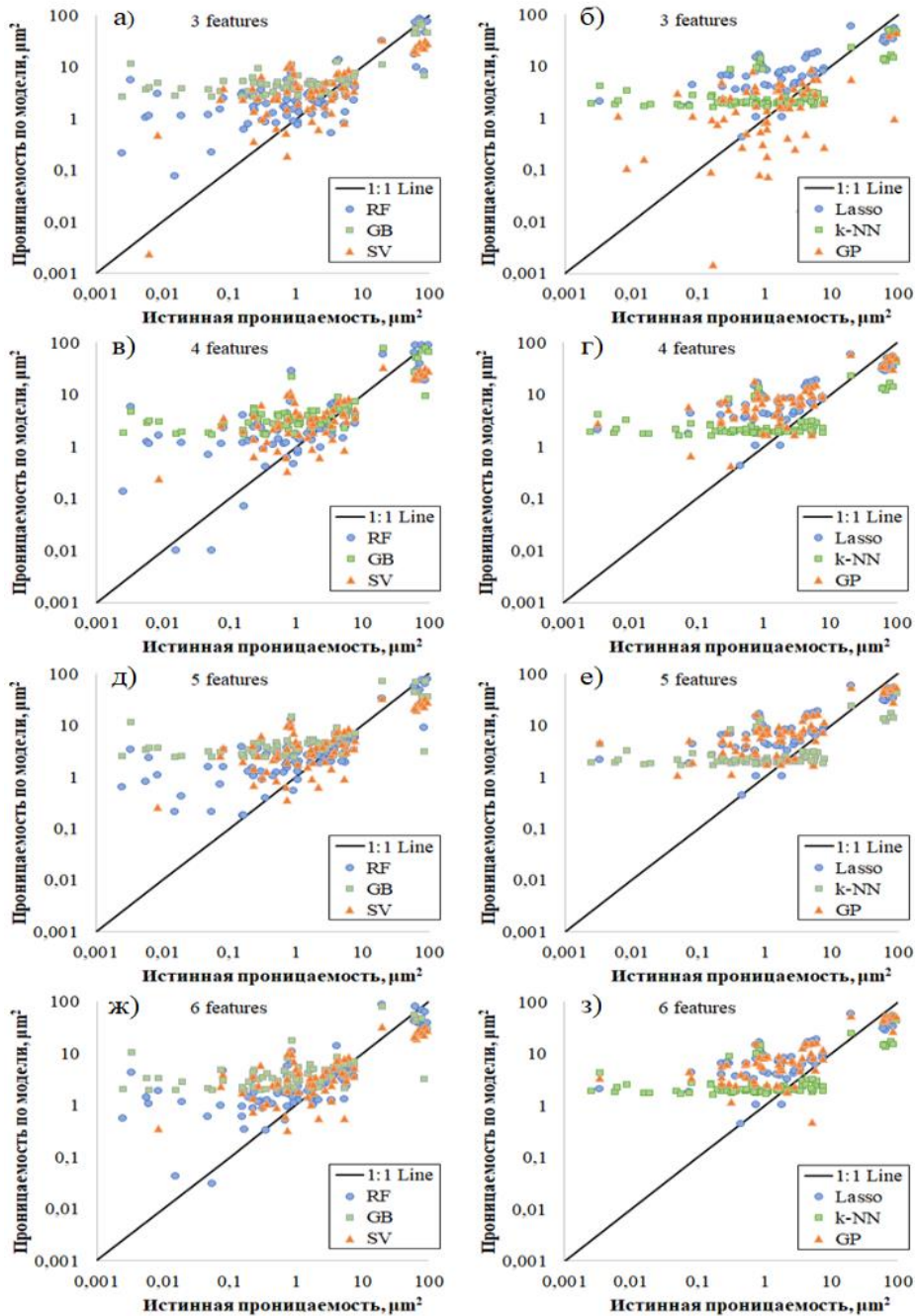


Рисунок 10. Прогнозируемая с помощью разных алгоритмов проницаемость в сравнении с истинной проницаемостью при разном количестве признаков

В табл. 5 собрана статистика ключевых параметров прогнозного и истинного значения проницаемости. Как видно из этой таблицы, алгоритмы SV, Lasso и GP прогнозировали отрицательные (минимальные) значения проницаемости во всех случаях с количеством признаков, тогда как она должна быть строго положительной. Причем, отрицательные проницаемости имеют большие значения по модули. Хотя, минимальная проницаемость по GB и k-NN положительная, но она все еще имеет большую погрешность от истинной минимальной проницаемости.

Таблица 5. Статистика предсказанных проницаемостей при разных количествах признаков

Параметр	Признаки	Истинная	RF	GB	SV	Lasso	k-NN	GP
Минимум	3	0,00249	0,07540	2,66	-10,64	-16,37	1,6557	-4,33
	4		0,01001	1,75	-10,94	-16,37	1,6634	-21,50
	5		0,17730	2,40	-10,93	-16,37	1,6633	-17,05
	6		0,03128	1,94	-10,95	-16,37	1,6563	-17,10
Максимум	3	95,91	84,05	71,47	33,25	58,44	50,893	45,63
	4		88,70	78,88	33,26	58,44	50,409	60,02
	5		78,69	72,95	33,23	58,44	50,408	56,54
	6		87,81	80,94	33,44	58,44	51,634	56,39
Среднее	3	9,31	7,51	8,67	4,627	7,64	5,4628	2,40
	4		9,40	9,10	4,626	7,64	5,3918	7,63
	5		8,04	8,63	4,640	7,64	5,3917	8,29
	6		8,22	7,96	4,589	7,64	5,5671	8,18

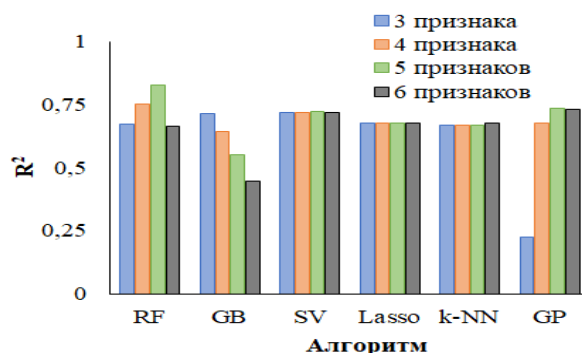


Рисунок 11. Коэффициент достоверности прогноза проницаемости при разных количествах признаков

Наиболее близкое к истинному значению проницаемости (превышающая всего 4 раза) было получено с помощью алгоритма RF при 4 признаках. Наиболее отдаленные от истинного максимального значения проницаемости были получены при помощи алгоритмов SV, Lasso, k-NN и GP, которые имеют погрешность 37-65% от истинной проницаемости. Самое близкое к максимальной истинной проницаемости была полученная с помощью алгоритма RF погрешность которой составляет 7,5%. Проницаемость, предсказанная по GB, также близко находится к истинной. Средние проницаемости, полученные с помощью алгоритмов RF и GB, являются наиболее близкими к истинной проницаемости при 2 признаках, и их погрешности от истинной проницаемости составили 2-3%. Другие средние значения проницаемости при остальных количествах признаков находятся относительно близко по сравнению с результатами других алгоритмов. Наиболее отдаленные средние от истинного значения проницаемости были получены с помощью SV и k-NN, тогда как проницаемости по Lasso и GP находятся в диапазоне погрешности 18-29% от истинной проницаемости.

Заклучение

В настоящей статье рассмотрены 6 различных методов машинного обучения для анализа данных и прогноза абсолютной проницаемости 266 образцов различных горных пород размерами от 125 мкм до 3 мм. Анализ полного набора данных показал высокую корреляцию проницаемости с радиусом горловины пор, пористостью, координационным числом и радиусом пор. Разбиение полного набора данных на обучающий и тестовый существенно повлияло на результаты методов GB, Lasso и k-NN: с увеличением доли обучающего набора данных количество важных признаков по выбору этих методов выросло. Все алгоритмы предсказали завышенные минимальные проницаемости при любых разбиениях набора данных. Кроме того, алгоритмы SV, Lasso и GP прогнозировали отрицательные проницаемости. Все алгоритмы постарались близко предсказать максимальное и среднее значения (песчаные породы и песчаная упаковка) к истинному значению проницаемости. Сравнение качеств прогноза всех алгоритмов показало, что алгоритм RF является наиболее подходящим для анализа неоднородных данных, т.е. данных образцов различной породы, свойства которых сильно отличаются от их среднестатистического значения. Наибольший коэффициент достоверности прогноза $R^2=0,83$ был достигнут при использовании алгоритма RF, и это было получено при 5 признаках. Алгоритмы в основном выбрали в качестве важных признаков (параметров) радиуса пор, радиуса горловины пор и пористости.

Благодарность. Данное исследование было профинансировано Комитетом Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы BR18574136 «Развитие методов глубокого обучения и интеллектуального анализа для решения сложных задач механики и робототехники».

Список использованной литературы:

- 1 Rajalingam, B., Priya, R. (2018). Multimodal Medical Image Fusion based on Deep Learning Neural Network for Clinical Treatment Analysis. *International Journal of ChemTech Research*. <https://doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110621>.
- 2 Cicceri, G., Inserra, G., & Limosani, M. (2020). A Machine Learning Approach to Forecast Economic Recessions—An Italian Case Study. *Mathematics*, 8(2), 241. <https://doi.org/10.3390/math8020241>.
- 3 Yoon, J. (2021). Forecasting of Real GDP Growth Using Machine Learning Models: Gradient Boosting and Random Forest Approach. *Computational Economics*, 57(1), 247–265. <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10054-w>.
- 4 Gholami, R., Shahraki, A. R., & Jamali Paghaleh, M. (2012). Prediction of Hydrocarbon Reservoirs Permeability Using Support Vector Machine. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2012/670723>.
- 5 Tembely, M., AlSumaiti, A. M., & Alameri, W. (2020). A deep learning perspective on predicting permeability in porous media from network modeling to direct simulation. *Computational Geosciences*, 24(4), 1541–1556. <https://doi.org/10.1007/s10596-020-09963-4>.
- 6 Waszkiewicz, S., Krakowska-Madejska, P., & Puskarczyk, E. (2019). Estimation of absolute permeability using artificial neural networks (multilayer perceptrons) based on well logs and laboratory data from Silurian and Ordovician deposits in SE Poland. *Acta Geophysica*, 67(6), 1885–1894. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00347-6>.
- 7 Болысбек, Д., Асилбеков, Б. и Кульджабеков, А. (2023). Численное изучение влияния растворения породы на поровую структуру карбонатных образцов на основе экспериментальных данных. *Вестник «Физико-математические науки»*. 2(82), 54–63. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.006>.
- 8 Wu, J.-L., Yin, X.-L., & Xiao, H. (2018). Seeing Permeability From Images: Fast Prediction with Convolutional Neural Networks. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.08.006>.
- 9 Al Khalifah, H., Glover, P. W. J., & Lorinczi, P. (2020). Permeability prediction and diagenesis in tight carbonates using machine learning techniques. *Marine and Petroleum Geology*, 112, 104096. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104096>.
- 10 Rabbani, A., & Babaei, M. (2019). Hybrid pore-network and lattice-Boltzmann permeability modelling accelerated by machine learning. *Advances in Water Resources*, 126, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.02.012>.
- 11 Rezaee, R., & Ekundayo, J. (2022). Permeability Prediction Using Machine Learning Methods for the CO2 Injectivity of the Precipice Sandstone in Surat Basin, Australia. *Energies*, 15(6), 2053. <https://doi.org/10.3390/en15062053>.
- 12 Erofeev, A., Orlov, D., Ryzhov, A., & Koroteev, D. (2019). Prediction of Porosity and Permeability Alteration Based on Machine Learning Algorithms. *Transport in Porous Media*, 128(2), 677–700. <https://doi.org/10.1007/s11242-019-01265-3>.

13 Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.-V., Woo, W. L., Wei, B., & Pardo-Quiles, D.-J. (2021). A Comparison of Feature Selection and Forecasting Machine Learning Algorithms for Predicting Glycaemia in Type 1 Diabetes Mellitus. *Applied Sciences*, 11(4), 1742. <https://doi.org/10.3390/app11041742>.

14 Otchere, D. A., Ganat, T. O. A., Gholami, R., & Lawal, M. (2021). A novel custom ensemble learning model for an improved reservoir permeability and water saturation prediction. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 91, 103962. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.103962>.

15 Bolysbek, D. A., Assilbekov, B. K., Akasheva, Z. K., & Soltanbekova, K. A. (2021). ANALYSIS OF THE HETEROGENEITY INFLUENCE ON MAIN PARAMETERS OF POROUS MEDIA AT THE PORE SCALE. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 112(4). <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2021.v112.i4.06>.

References:

1 Rajalingam, B., Priya, R. (2018). Multimodal Medical Image Fusion based on Deep Learning Neural Network for Clinical Treatment Analysis. *International Journal of ChemTech Research*. <https://doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110621>.

2 Cicceri, G., Inserra, G., & Limosani, M. (2020). A Machine Learning Approach to Forecast Economic Recessions—An Italian Case Study. *Mathematics*, 8(2), 241. <https://doi.org/10.3390/math8020241>.

3 Yoon, J. (2021). Forecasting of Real GDP Growth Using Machine Learning Models: Gradient Boosting and Random Forest Approach. *Computational Economics*, 57(1), 247–265. <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10054-w>.

4 Gholami, R., Shahraki, A. R., & Jamali Paghaleh, M. (2012). Prediction of Hydrocarbon Reservoirs Permeability Using Support Vector Machine. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2012/670723>.

5 Tembely, M., AlSumaiti, A. M., & Alameri, W. (2020). A deep learning perspective on predicting permeability in porous media from network modeling to direct simulation. *Computational Geosciences*, 24(4), 1541–1556. <https://doi.org/10.1007/s10596-020-09963-4>.

6 Waszkiewicz, S., Krakowska-Madejska, P., & Puskarczyk, E. (2019). Estimation of absolute permeability using artificial neural networks (multilayer perceptrons) based on well logs and laboratory data from Silurian and Ordovician deposits in SE Poland. *Acta Geophysica*, 67(6), 1885–1894. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00347-6>.

7 Bolysbek, D., Asilbekov, B. i Kul'dzhabekev, A. (2023). Chislennoe izuchenie vliyanija rastvorenija porody na porovuju strukturu karbonatnyh obrazcov na osnove jeksperimental'nyh dannyh [Numerical study of the influence of roc dissolution on the pore structure of carbonate samples based on experimental data]. *Vestnik «Fiziko-matematicheskie nauki»*. 2 (82). 54–63. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.006>. (In Russian)

8 Wu, J.-L., Yin, X.-L., & Xiao, H. (2018). Seeing Permeability From Images: Fast Prediction with Convolutional Neural Networks. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.08.006>.

9 Al Khalifah, H., Glover, P. W. J., & Lorinczi, P. (2020). Permeability prediction and diagenesis in tight carbonates using machine learning techniques. *Marine and Petroleum Geology*, 112, 104096. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104096>.

10 Rabbani, A., & Babaei, M. (2019). Hybrid pore-network and lattice-Boltzmann permeability modelling accelerated by machine learning. *Advances in Water Resources*, 126, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.02.012>.

11 Rezaee, R., & Ekundayo, J. (2022). Permeability Prediction Using Machine Learning Methods for the CO2 Injectivity of the Precipice Sandstone in Surat Basin, Australia. *Energies*, 15(6), 2053. <https://doi.org/10.3390/en15062053>.

12 Erofeev, A., Orlov, D., Ryzhov, A., & Koroteev, D. (2019). Prediction of Porosity and Permeability Alteration Based on Machine Learning Algorithms. *Transport in Porous Media*, 128(2), 677–700. <https://doi.org/10.1007/s11242-019-01265-3>.

13 Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J.-V., Woo, W. L., Wei, B., & Pardo-Quiles, D.-J. (2021). A Comparison of Feature Selection and Forecasting Machine Learning Algorithms for Predicting Glycaemia in Type 1 Diabetes Mellitus. *Applied Sciences*, 11(4), 1742. <https://doi.org/10.3390/app11041742>.

14 Otchere, D. A., Ganat, T. O. A., Gholami, R., & Lawal, M. (2021). A novel custom ensemble learning model for an improved reservoir permeability and water saturation prediction. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 91, 103962. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.103962>.

15 Bolysbek, D. A., Assilbekov, B. K., Akasheva, Z. K., & Soltanbekova, K. A. (2021). ANALYSIS OF THE HETEROGENEITY INFLUENCE ON MAIN PARAMETERS OF POROUS MEDIA AT THE PORE SCALE. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 112(4). <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2021.v112.i4.06>.

Ж.С. Есенғалиева^{1*}, А.С. Есенғалиева², Р.Б. Биктимир¹, С.С. Есенғали³

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г.Астана, Казахстан

²Казахстанский филиал Московского государственного университета им.М.В. Ломоносова, г.Астана, Казахстан

³Республиканская физико-математическая школа, г.Астана, Казахстан

*e-mail: jannayess@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ ДАННЫМИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

В статье предложен ансамбль алгоритмов машинного обучения и программные результаты, включающие такие методы управления большими данными как регрессия, классификация и кластеризация. Предложенные методы в сравнении позволяют анализировать и интерпретировать полученные данные с реальными обстоятельствами на рынке недвижимости. В качестве данных рассматриваются сведения о недвижимости в столице Казахстана. Большие данные структурированы по таким полям как стоимость, классность, размер кухонного помещения, площадь и представляются в виде файла с расширением .csv, обрабатываются с помощью методов машинного обучения. В качестве среды программирования использован Python, при этом библиотеки numpy, pandas, matplotlib, Axes3D, LinearRegression, Scikit-learn, KMeans позволяют интерпретировать и визуализировать полученные данные. Проведенный вычислительный эксперимент наглядно демонстрирует классификацию данных, разделение на кластеры, а также формирует прогноз по стоимости в зависимости от заявленных признаков.

Ключевые слова: линейная регрессия, классификация, кластеризация, большие данные, дерево решений.

Аңдатпа

Ж.С. Есенғалиева¹, А.С. Есенғалиева², Р.Б. Биктимир¹, С.С. Есенғали³

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

²М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университетінің Қазақстан филиалы, Астана қ., Қазақстан

³Республикалық физика-математика мектебі, Астана қ., Қазақстан

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ БАСҚАРУ

Мақалада үлкен деректерді басқару әдістерін қамтитын регрессия, классификация және кластерлеу сияқты машиналық оқыту алгоритмдерінің ансамблі және программалық нәтижелер ұсынылған. Ұсынылған әдістер салыстырмалы түрде алынған мәліметтерді жылжымайтын мүлік нарығындағы нақты жағдайлармен талдауға және түсіндіруге мүмкіндік береді. Деректер ретінде Қазақстан астанасындағы жылжымайтын мүлік туралы мәліметтер қарастырылады. Үлкен деректер құны, классы, ас үй кеңістігінің өлшемі, ауданы бойынша құрылымдалған және .csv кеңейтімі бар файл ретінде ұсынылған, машиналық оқыту әдістері арқылы өңделеді. Python бағдарламалау ортасы ретінде пайдаланылды, numpy, pandas, matplotlib, Axes3D, LinearRegression, Scikit-learn, KMeans кітапханалары арқылы алынған деректерді интерпретациялау және визуализациялау жасалды. Жүргізілген есептеу эксперименті деректерді классификациялауға, кластерлерге бөлуге, сондай-ақ мәлімделген белгілерге байланысты құны бойынша болжам жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сызықтық регрессия, классификация, кластерлеу, үлкен деректер, шешім ағашы.

Abstract

MANAGING BIG DATA WITH MACHINE LEARNING METHODS

Yessengaliyeva J.S.¹, Yessengaliyeva A.S.², Biktimir R.B.¹, Yessengali S.S.³

¹Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² Kazakhstan branch of M. V. Lomonosov Moscow State University, Astana, Kazakhstan

³Republican Physics and Mathematics School, Astana, Kazakhstan

The article proposes an ensemble of machine learning algorithms and program results, including such big data management methods as regression, classification and clustering. The proposed methods in comparison allow to analyze and interpret the obtained data with the real circumstances in the real estate market. Information about real estate in the capital of Kazakhstan is considered as data. Big data is structured by such fields as cost, class, kitchen space size, area and is presented as a .csv file, processed using machine learning methods. Python was used as a programming environment, while the numpy, pandas, matplotlib, Axes3D, LinearRegression, Scikit-learn, KMeans libraries allow you

to interpret and visualize the received data. The conducted computational experiment clearly demonstrates the classification of data, division into clusters, and also forms a forecast for the cost depending on the declared features.

Keywords: linear regression, classification, clustering, big data, decision tree.

Введение

Современный мир уже невозможно представить без больших данных, их обработки, обучения с целью получения результатов прогноза, классификации объектов по группам, кластеризации. Рынок недвижимости в Казахстане и в мире в целом, ежедневно меняется, динамично развивается, пополняется данными и является актуальной темой для изучения в статистическом плане, прогноза стоимости, также затрагивает другие отрасли и явления как строительство, товарооборот, дизайн, демографический рост и др. Множество сайтов, редакций, социальных сетей предоставляют данные о недвижимости. Поток данных ежедневно обновляется, обрабатывается, увеличивается, при этом требует структурированной выходной информации для конечного пользователя. Извлекаемые большие данные при правильной обработке приносят значительный инвестиционный эффект, позволяющий более выгодно использовать имеющиеся ресурсы.

Однако, прежде чем приступить к обработке больших данных с целью получения достоверной своевременной и необходимой информации следует провести разведочный анализ данных, то есть наблюдаемые данные должны быть представлены в определенной форме, доступной для выявления каких-либо закономерностей, моделирования прогнозных решений. К примеру, в работе И. Керчева и др. [1] для разработки сверточной нейронной сети проведен разведочный анализ данных из полученных эталонных карт сегментации. Выделены признаки сегментов изображения, предложена модель нейронной сети для попиксельной классификации.

Объем данных продолжает расти, и как исследователям, так и компаниям требуются инструменты, помогающие анализировать и понимать эти данные, большая часть которых представлена в виде неструктурированных данных [2]. Правительственные учреждения и исследовательские группы стремятся обрабатывать и понимать данные, которые оказывают определенное влияние на развитие социальных, экономических, научно-технологических процессов.

Авторы в своих трудах [3] рассматривают многомерный анализ данных, основными особенностями которого являются возможность учитывать различные типы переменных (количественные или категориальные), различные типы структур данных (раздел переменных, иерархия переменных, раздел отдельных лиц) и наконец, дополнительная информация (дополнительные лица и переменные). Более того, параметры, полученные в результате различных анализов разведочных данных, могут автоматически описываться количественными и/или категориальными переменными. Предложенный многомерный анализ данных позволяет систематизировать неструктурированную информацию.

После этапа проведения разведочного анализа данных следует определить алгоритмы машинного обучения для дальнейшей обработки с целью получения искомой информации. Для поставленной цели предложены такие инструменты как регрессия, классификация и кластеризация. Методы машинного обучения позволяют осуществить прогноз, разделить извлеченные данные по кластерам и классам.

В статье З. Ахмад, М. Мансуровой [4] представлена модель машинного обучения для оценки значительной высоты океанской волны с целью прогнозирования состояния океана с помощью регрессии на основе метода опорных векторов. В предложенной модели вычислена среднеквадратическая ошибка, равная 0,044, приближенная к нулю, что свидетельствует об адекватности модели и проведенных вычислений.

В трудах А. Мифтаховой [5] описано применение метода дерева решений в задачах классификации и прогнозирования. Метод дерева решений, основанный на определенных решающих правилах структурирует большие данные по определенной иерархии.

М.Тиндова [6] описывает кластеризацию как набор точек для выявления неравномерностей в их распределении по пространству. Под «неравномерностями» понимаются сгущения точек и образование ими кластеров. Для решения этой традиционной задачи распознавания образов без учителя предложено множество подходов, базирующихся на теоретико-вероятностной модели либо на некоторой правдоподобной эвристике. В статье [7] предложены алгоритмы параметрической кластеризации на основе центроидов, такие как классические средние значения, алгоритм Линде-Бузо-Грея (LBG) и теоретико-информационная кластеризация, которые возникают в результате специального выбора дивергенции Брегмана. Алгоритмы сохраняют простоту и масштабируемость классического алгоритма kmeans, в то же время обобщая метод на большой класс функций потерь кластеризации.

С появлением больших данных в настоящее время во многих приложениях доступны базы данных, содержащие большое количество похожих временных рядов. Прогнозирование временных рядов в этих областях с помощью традиционных процедур одномерного предвидения оставляет неиспользованными большие возможности для получения точных прогнозов. Рекуррентная нейронная сеть вместе с различными алгоритмами кластеризации, такими как kMeans, DBScan, Partition Around Medoids (PAM) и Snob позволяет достичь конкурентоспособных результатов при сравнительном анализе наборов данных в соответствии с процедурами оценки конкуренции [8].

На основе вышеописанных методов сформирован ансамбль алгоритмов машинного обучения, позволяющий наиболее точно определить прогноз, категориальность по имеющимся спарсенным данным.

Методы

Как описано выше, для запуска тех или иных моделей машинного обучения нужны данные. Обработка исходных данных является важным этапом в построении систем машинного обучения. Проведен разведочный анализ данных, при этом выявлены признаки, на которых будет обучаться модель. Сформированная датасет с помощью регрессии позволит получить прогнозную модель в рамках визуальной интерпретации, а также классифицировать и кластеризировать данные по признакам. Каждый представленный алгоритм имеет свою область применения. Ансамбли алгоритмов – наборы моделей для решения одной и той же задачи способствуют повышению точности модели.

Сначала рассмотрим регрессию с двумя признаками, затем с тремя признаками, по отдельности. В качестве признаков, так называемых фичей, определим переменные dim_1 – площадь квартиры, dim_2 – площадь кухонного помещения, $price$ – цена. Следовательно, при использовании регрессии с двумя фичами получим зависимость согласно формуле 1:

$$price(dim_1) = a * dim_1 + b. \quad (1)$$

В случае прогноза по трем признакам, имеем формулу 2:

$$price(dim_1, dim_2) = a + b1 * dim_1 + b2 * dim_2. \quad (2)$$

Далее, проведем классификацию. Точность классификации дерева решений (без ущерба для интерпретации и с сохранением структуры узлов и листьев) можно значительно улучшить модель с помощью адаптации параметров [7].

Деревья решений – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение [5]. Цель процесса построения дерева принятия решений – создать модель, по которой можно было бы классифицировать случаи и решать, какие значения может принимать целевая функция, имея на входе несколько переменных [5]. Построение модели основано на больших данных из сайта недвижимости по Республике Казахстан, а именно krysha.kz [9]. Зная параметры недвижимости, на основе входных данных можно выяснить его классность. Построим алгоритм классификации на основе дерева решений, где по определенным решающим правилам производится разделение на классы.

Какие бывают классы жилья? В РК официально существует четыре класса комфортности жилья. Но это вовсе не эконом, комфорт, бизнес и элит. В СНиПах они обозначаются римскими цифрами от I до IV. Сопоставить их можно так: первый класс – элит, второй – бизнес, третий – комфорт, четвертый – эконом. По данным Krysha.kz [9], жильё IV класса комфортности обычно на 25–35 % дешевле III класса. Разница стоимости квадратного метра в эконом классе относительно II и I класса (бизнес и элит) достигает 50–80 % и более. Кроме того, особым спросом пользуются такие сопоставления как бизнес, комфорт+, комфорт. В связи с чем, за основу одного из фичей взяты данные категории.

Дерево, по сути, это вопрос. Один вопрос ведет к другому, пока не получим последний вопрос с искомым ответом. Библиотеки Python [10,11] позволяют произвести данный алгоритм. Здесь целевые признаки $feature_0 \Rightarrow dim_1$, а $feature_1 \Rightarrow dim_2$ соответствуют определенным фичам.

В предложенном ансамбле алгоритмов следующим является кластеризация. Здесь распределим данные по кластерам вышеупомянутого сопоставления. Разделение по кластерам позволяет сгруппировать данные по определенным критериям, является методом машинного обучения без учителя. На основе изложенных научных методов машинного обучения проведен вычислительный эксперимент, результаты которого представлены ниже.

Результаты и обсуждение

Проведен прогноз стоимости недвижимости по квадратуре и классности жилья. За образец взяты данные трехкомнатных квартир в г.Астана, Республика Казахстан. В качестве примера рассмотрен файл с расширением .csv и данными, извлеченными с сайта krysha.kz. Обучению подлежат непосредственно данные трехкомнатных квартир (г.Астана, Казахстан). На рис.1А) представлены обученные данные, на рис.1Б) высчитана регрессия, которая позволяет спрогнозировать стоимость недвижимости посредством регрессии (красной линии).

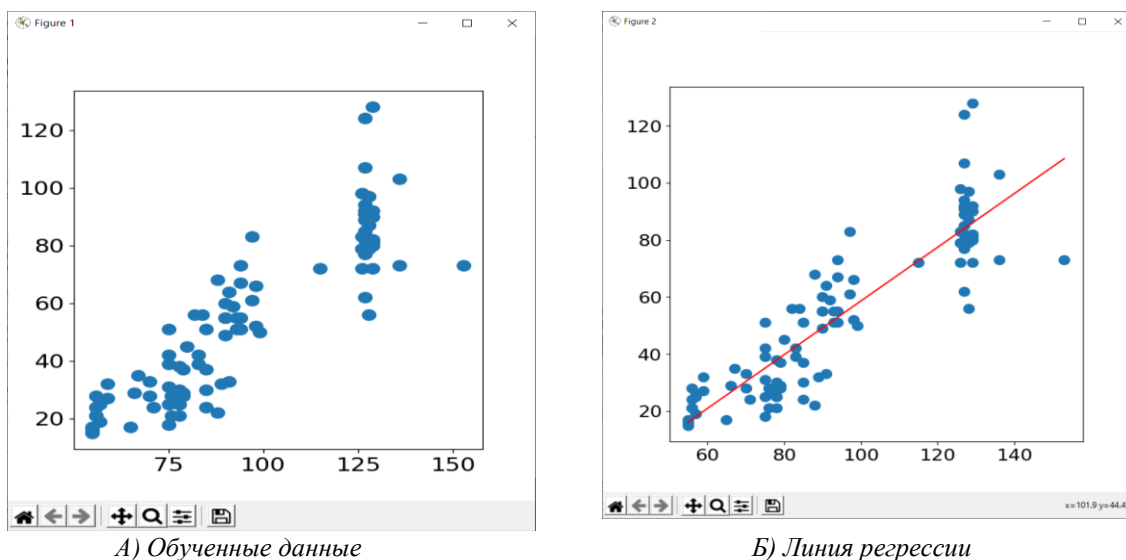


Рисунок 1. Обучение с помощью регрессии

Здесь линия регрессии предполагает стоимость недвижимости по признакам площади и стоимости жилья. Полученные данные имеют общие признаки и коррелируют с математической моделью. При этом есть некоторые выбросы, в реальности такие экземпляры имеют место. По данной модели можно прогнозировать стоимость по площади.

Далее на рис. 2А) представлены обученные данные по трем признакам: dim_1 – площадь квартиры, dim_2 – площадь кухонного помещения, $price$ – цена, на рис. 2Б) высчитана регрессия, которая позволяет спрогнозировать стоимость недвижимости посредством плоскости.

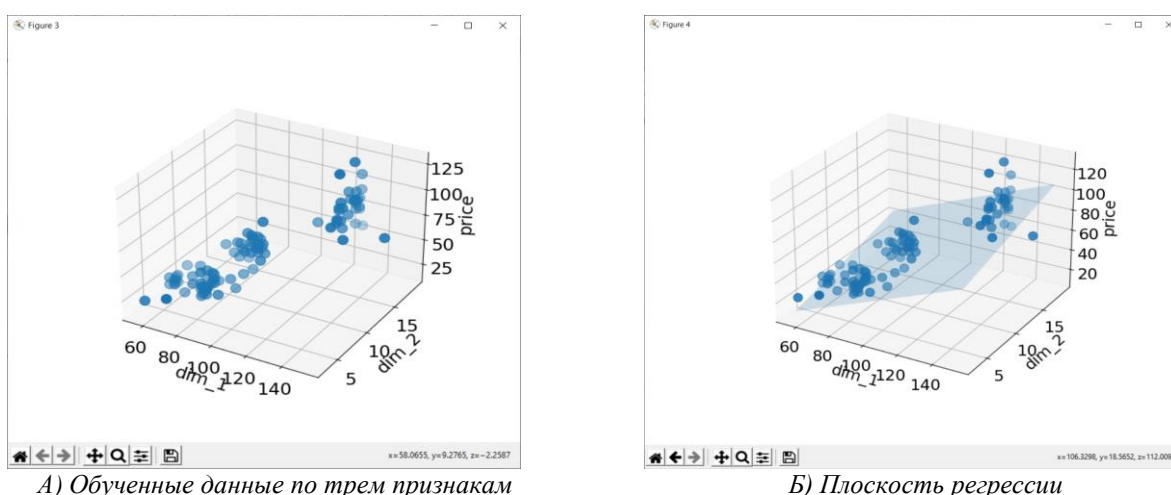


Рисунок 2. Обучение с помощью регрессии по трем признакам

Плоскость регрессии предполагает стоимость недвижимости по признакам площади трехкомнатной квартиры, площади кухни и стоимости. Трехмерное пространство позволяет более наглядно

визуализировать полученные обработанные большие данные посредством методов машинного обучения в программной среде Python с использованием соответствующих библиотек.

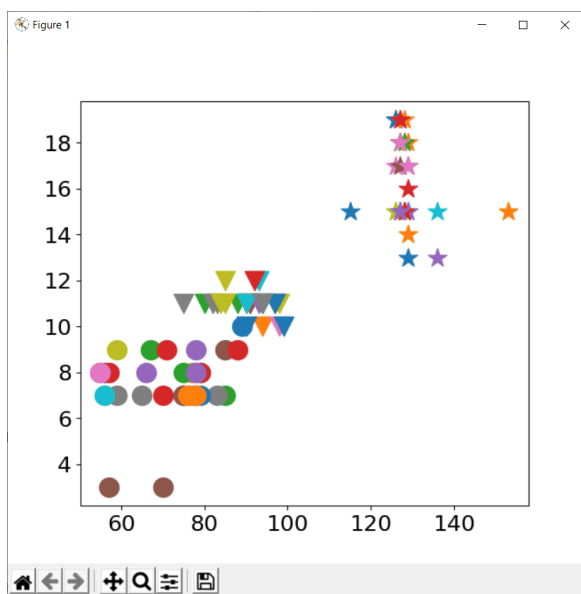
Следующим результатом правильности суждений является классификация полученных данных по дереву решений. На рис.3 представлено распределение заявленных площадей по классности, а именно: бизнес, комфорт+, комфорт. Именно метод классификации является основополагающим в данном ансамбле алгоритмов. Посредством метода DecisionTreeClassifier в данном случае представлено дерево решений, которое являясь алгоритмом машинного обучения реализуется на основе правил образующих определенную иерархию. Данный алгоритм в вычислительном эксперименте основан на количественных признаках, взятых из .csv файла.

```
Python 3.8.5 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.8.5 (tags/v3.8.5:580fbb0, Jul 20 2020, 15:57:54) [MSC v.1924 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
= RESTART: C:\Users\Жанна\AppData\Local\Programs\Python\Python38\BigData\clas.py
|--- feature_1 <= 9.50
| |--- class: comfort
|--- feature_1 > 9.50
| |--- feature_1 <= 12.50
| | |--- feature_1 <= 10.50
| | | |--- feature_0 <= 89.50
| | | |--- class: comfort
| | | |--- feature_0 > 89.50
| | | |--- class: comfort+
| | |--- feature_1 > 10.50
| | | |--- class: comfort+
| |--- feature_1 > 12.50
| | |--- class: business
>>> |
```

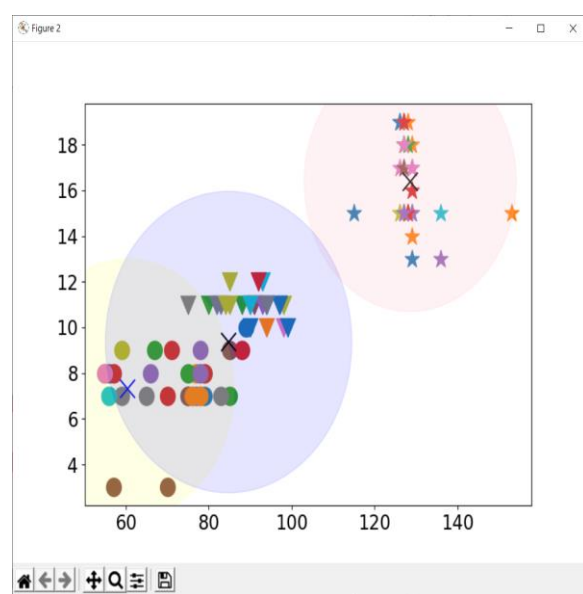
Рисунок 3. Машинное обучение. Классификация по дереву решений

В процессе исследования нами получены различные результаты множества дерева решений, где было сложно интерпретировать искомые данные. Подбирались различные фичи, и именно в разрезе трехкомнатных квартир с соответствующими площадями нами получено читабельное дерево решений, с определенными правилами по заявленным признакам.

В итоге, согласно метода машинного обучения, а именно полученного дерева решений на основе алгоритма DecisionTreeClassifier в среде Python проведен вычислительный эксперимент. Согласно результатам, если площадь кухни меньше или равна 9,5 кв.м., то недвижимость относится к классу комфорт. В диапазоне признаков $9 < \text{feature}_1 \leq 10.50$, при $\text{feature}_0 < 89.5$ мы получаем также класс комфорт и т.д. Таким образом, при площади кухни больше 12,5 кв.м. мы получаем класс бизнес.



А) Кластеры



Б) Кластеры с выделенными областями

Рисунок 4. Машинное обучение. Кластеризация

В вычислительном эксперименте использована кластеризация полученных данных. На рис.4А) показаны сгруппированные кластеры: бизнес, комфорт+, комфорт. На рис.4Б) полученные кластеры объединены в соответствующие области по итогам проведенной кластеризации согласно критериям стоимости и площади кухонного помещения.

С помощью библиотеки Kmeans существует возможность сформировать определенные кластеры, а также центроиды. Данная процедура позволяет сгенерировать начальные центроиды кластера, на основе эмпирического распределения вероятностей вклада точек в общую инерцию с

В нашем случае мы имеем массив с параметрами (*dim_1*, *dim_2*) и получаем начальные центры.

Вызов библиотеки происходит по команде *from sklearn.cluster import Kmeans*. Здесь мы импортируем модуль, отвечающий за кластеризацию. Выгружаем признаки в отдельную переменную, затем создаем модель для кластеризации с помощью метода *fit*:

```
clust = KMeans(n_clusters=3).fit(X).
```

Метод *fit(X[y, вес_выборки])* позволяет вычислить кластеризацию k-средних [11]. Для определения центра кластеров используем *clust.cluster_centers_*. Реализация областей позволяет визуально выделить кластеры, в нашем случае разделение происходит с помощью маркеров и библиотеки *matplotlib*:

```
markers = {"comfort": "o", "comfort+": "v", "business": "*"}
plt.scatter(c1[0], c1[1], s=250, marker="x", c="blue")
plt.scatter(c1[0], c1[1], s=250 * 2e2, c="yellow", alpha=0.1).
```

Метрики качества машинного обучения для регрессии позволяют определить адекватность модели. Для оценки качества модели использовали коэффициент корреляции, также в научной литературе его называют коэффициентом детерминации. Кроме того, можно использовать среднюю квадратичную ошибку. Среда Python располагает соответствующим функционалом по расчету данных метрик качества.

На рисунке 5 представлен файл с расширением *.csv*, данные с файла подгружаются в программу посредством библиотек с помощью команды *houses = pd.read_csv("houses.csv")*.

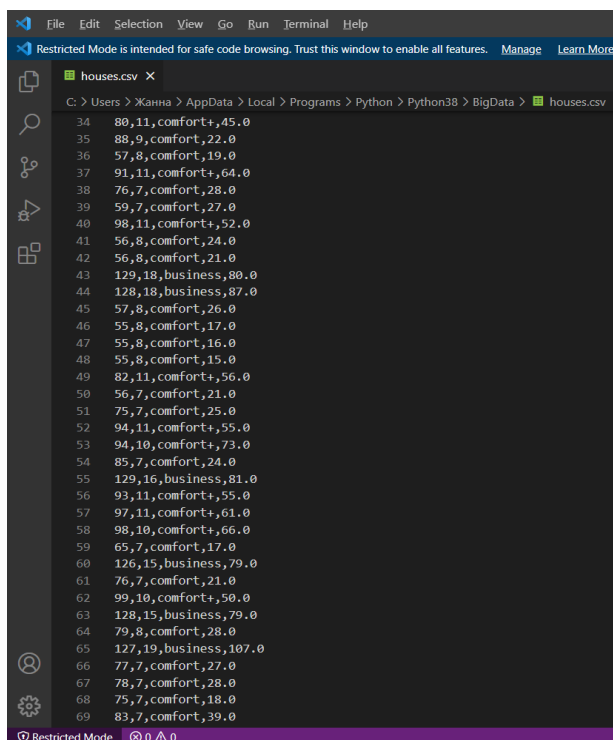


Рисунок 5. Фрагмент извлеченных данных

Таким образом, исследованы алгоритмы и методы машинного обучения. Проведен анализ полученных данных, который позволяет классифицировать, разделить на кластеры и прогнозировать большие данные, извлеченные с сайта посредством библиотеки BeautifulSoap с расширением .csv. Кроме того, разработано приложение в среде Python, которое осуществляет прогноз с применением ансамбля алгоритмов, базирующегося на регрессии, классификации, кластеризации.

Выводы

В статье проведен библиографический обзор в области методов машинного обучения. Рассмотрен разведочный анализ больших данных, освещены материалы по регрессии, классификации и кластеризации. Теоретически и практически изучены предложенные методы машинного обучения.

По полученным данным, на основе отобранных признаков выведены математические модели, разработаны программы в среде Python и объединены в единое приложение. Изучены библиотеки среды программирования Python, такие как numpy, pandas, matplotlib, Axes3D, LinearRegression, Scikit-learn, KMeans позволяют интерпретировать и визуализировать полученные данные.

Проведены вычислительные эксперименты, результаты которых представлены в данной статье. Полученные результаты позволяют обрабатывать большие данные, моделировать рыночную ситуацию недвижимости в определенном сегменте и визуализировать в виде дерева решений, регрессии, областей кластеров. Представленный ансамбль алгоритмов машинного обучения наглядно демонстрирует адекватность моделей и результатов.

Ансамбль алгоритмов указывает на подход, при котором выполняется несколько методов, и их согласованная визуализация используется в качестве окончательной интерпретации. Ансамблевые решения лучше, чем простые модельные решения. Ансамбль считается лучшим ансамблем, если его члены являются действительными или качественными и если они участвуют в соответствии со своими качествами в построении консенсусной кластеризации, классификации, регрессии.

В статье предложена структура ансамбля алгоритмов, в которой используется алгоритм кластеризации, основанный на алгоритме кластеризации kmeans. Наш алгоритм кластеризации гарантирует, что обнаруженные кластеры действительны [13]. Структура ансамбля алгоритмов использует механизм для использования каждого обнаруженного кластера, класса, регрессии в соответствии с его качеством.

В перспективе планируется исследование полиномиальной регрессии с целью получения прогнозной модели оценки стоимости недвижимости. Также в качестве объектов исследования будут рассмотрены квартиры с различной комнатностью. Извлечение больших данных с веб-ресурсов играет важную роль для обработки с помощью методов машинного обучения. В этой связи планируется адаптация полученной модели для больших данных из других отраслей экономики, информационно-коммуникационных технологий.

Исследование представляет научный, экономический, маркетинговый интерес и эффективно для населения.

Список использованной литературы:

1 Kerchev I.A., Maslov K.A., Markov N.G., Tokareva O.S. Semantic segmentation of damaged fir trees in unmanned aerial vehicle images [Семантическая сегментация повреждённых деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов] (2021) *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 18 (1), pp. 116 – 126. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-116-126 Scopus

2 Edwards A., Sullivan M., Itkowsky E., Weinberg D. TextQ—A User Friendly Tool for Exploratory Text Analysis (2021) *Information (Switzerland)*, 12 (12), art. no. 508 DOI: 10.3390/info12120508 Scopus

3 Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis (2008) *Journal of Statistical Software*, 25 (1), pp. 1 – 18 DOI: 10.18637/jss.v025.i01

4 Ahmad, Z., & Mansurova, M. (2021). Machine learning approach to predict significant wave height. *Journal Of Mathematics, Mechanics And Computer Science*, 110(2), 87-96. doi:10.26577/JMMCS.2021.v110.i2.08

5 Мифтахова, А. А. Применение метода дерева решений для решения задач классификации и прогнозирования // А. А. Мифтахова // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Т. 14. – № 1. – С. 64-70. – DOI 10.18469/ikt.2016.14.1.10. – EDN WDCYVR.

6 Тиндова М. Г. Предварительная кластеризация многомерных объектов в интеллектуальном анализе данных // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. – №. 4. – С. 137-138.

7 Абрамова, Т. В. Улучшение точности классификации методом обратного распространения параметра по иерархическому нечеткому дереву решений / Т. В. Абрамова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 126-127. – EDN CWUUCW.

8 Bandara K., Bergmeir C., Smyl S. Forecasting across time series databases using recurrent neural networks on groups of similar series: A clustering approach (2020) *Expert Systems with Applications*, 140, art. no. 112896

9 Электронный ресурс: <https://krisha.kz/>. Дата обращения: 14.11.2022

10 Сузи Р. А. Язык программирования Python // М.: Бином. Лаборатория знаний. – 2006.

11 Бэрри П. Изучаем программирование на Python. – Litres, 2019.

12 Электронный ресурс: [scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 1.3.1 documentation](https://scikit-learn.org/stable/tutorial/tutorial.html) Дата обращения: 30.11.2022

13 Niu H., Khozouie N., Parvin H., Alinejad-Rokny H., Beheshti A., Mahmoudi M.R. An ensemble of locally reliable cluster solutions (2020) *Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (5), art. No. 1891

References:

1 Kerchev I.A., Maslov K.A., Markov N.G., Tokareva O.S. Semantic segmentation of damaged fir trees in unmanned aerial vehicle images [Semanticheskaya segmentaciya povrezhdyonnyh derev'ev pihty na snimkah s bespilotnyh letatel'nyh apparatov] (2021) *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 18 (1), pp. 116 – 126. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-116-126 Scopus (In Russian)

2 Edwards A., Sullivan M., Itkowsky E., Weinberg D. TextQ—A User Friendly Tool for Exploratory Text Analysis (2021) *Information (Switzerland)*, 12 (12), art. No. 508 DOI: 10.3390/info12120508 Scopus

3 Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis (2008) *Journal of Statistical Software*, 25 (1), pp. 1 – 18 DOI: 10.18637/jss.v025.i01

4 Ahmad, Z., & Mansurova, M. (2021). Machine learning approach to predict significant wave height. *Journal Of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 110(2), 87-96. Doi:10.26577/JMMCS.2021.v110.i2.08

5 Miftahova, A.A. (2016) *Primenenie metoda dereva reshenij dlja reshenija zadach klassifikacii i prognozirovaniya* [Application of the decision tree method to solve classification and forecasting problems]. A.A. Miftahova *Infokommunikacionnye tehnologii. T. 14. № 1.*, 64-70. DOI 10.18469/ikt.2016.14.1.10. – EDN WDCYVR. (In Russian)

6 Tindova, M.G. (2008) *Predvaritel'naya klasterizaciya mnogomernyh ob'ektov v intellektual'nom analize dannyh* [Pre-clustering of multidimensional objects in data mining]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta. № 4.*, 137-138. (In Russian)

7 Abramova, T.V. (2020) *Uluchshenie tochnosti klassifikacii metodom obratnogo rasprostraneniya parametra po ierarhicheskomu nechetkomu derevu reshenij* [Improving classification accuracy using the parameter backpropagation method over a hierarchical fuzzy decision tree]. *Aktual'nye problem sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya. T. 11. № 1.*, 126-127. EDN CWUUCW. (In Russian)

8 Bandara, K., Bergmeir, C., Smyl, S. (2020) *Forecasting across time series databases using recurrent neural networks on groups of similar series: A clustering approach. Expert Systems with Applications*, V.140, 112896.

9 Electronic resource: <https://krisha.kz/>. Date of the application: 14.11.2022

10 Suzi, R. A. (2006) *Yazyk programmirovaniya Python [Python programming language]. M.: Binom. Laboratoriya znaniy. (In Russian)*

11 Berri, P. (2019) *Izuchaem programmirovanie na Python [Learning Python Programming]. Litres. (In Russian)*

12 Electronic resource: [scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 1.3.1 documentation](https://scikit-learn.org/stable/tutorial/tutorial.html) Date of the application: 30.11.2022

13 Niu, H., Khozouie, N., Parvin, H., Alinejad-Rokny, H., Beheshti, A., Mahmoudi, M.R. (2020) *An ensemble of locally reliable cluster solutions. Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (5), 1891.

А.Ж. Карипжанова¹, Қ.Т. Қожжахмет^{1*}, Р.З. Жумалиева¹, А.М. Өмірәлі¹, Д.А. Баязитов¹

¹НАО «Университет Нархоз», г. Алматы, Казахстан

*e-mail: k.kozhakhmet2023@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАСЩЕПЛЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛГОРИТМОВ МНОГОМЕРНОЙ ЧЕТНОСТИ

Аннотация

Модель распределенного хранения данных с использованием многомерных кодов с частичной защитой от потерь данных рассматривается как альтернативный способ обеспечения безопасности, который может заменить общепринятый метод множественного резервного копирования. В этой модели избыточные данные генерируются, позволяя восстанавливать частичные потери разделенных частей. Восстановление производится с использованием кодовых файлов, формируемых во время процедуры разделения, основное действие заключается в расчете битовой четности с модулем-2 сложения. Сравнение с рядом моделей, использующих контрольные суммы для восстановления, показывает, что расчетная вероятность потерь в случае сбоя в хранении значительно ниже при использовании многомерных кодов с частичной защитой. Поврежденные файлы могут быть полностью восстановлены с помощью битового сложения неповрежденных файлов. Даже когда теоретически неподвластные восстановлению потери достигаются, всегда есть шанс найти комбинации цепочечного восстановления. Система хранения, использующая многомерные коды с частичной защитой, является более удобной технологией коррекции ошибок. Сложность альтернативных методов, в том числе метода итеративного декодирования, делает систему распределенного хранения расщепленных данных с применением алгоритмов многомерной четности более удобной технологией исправления ошибок.

Ключевые слова: безопасность, распределенное хранение, расщепление данных, многомерная четность, восстановление потерь, файлы четности.

Аңдатпа

А.Ж. Карипжанова¹, Қ.Т. Қожжахмет¹, Р.З. Жумалиева¹, А.М. Өмірәлі¹, Д.А. Баязитов¹

¹«Нархоз Университеті» КеАҚ, Алматы қ., Қазақстан

КӨПӨЛШЕМДІ ЕСЕП БЕРУ АЛГОРИТМДЕРІН ПАЙДАЛАНУ КЕЗІНДЕ ЫДЫРАТЫЛҒАН ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ

Деректерді жоғалтудан ішінара қорғалған көпөлшемді кодтарды қолдана отырып, таратылған деректерді сақтау моделі жалпы қабылданған бірнеше сақтық көшірме әдісін алмастыра алатын қауіпсіздікті қамтамасыз етудің балама әдісі ретінде қарастырылады. Бұл модельде артық деректер пайда болады, бұл ыдыратылған бөліктердің ішінара жоғалуын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Қалпына келтіру бөлу процедурасы кезінде қалыптасқан кодтық файлдарды қолдану арқылы жүзеге асырылады, негізгі әрекет-2 қосу модулімен биттік паритетті есептеу. Қалпына келтіру үшін бақылау сомаларын пайдаланатын бірқатар модельдермен салыстыру жартылай қорғалған көп өлшемді кодтарды пайдаланған кезде сақтаудағы ақаулар болған жағдайда шығынның болжамды ықтималдығы айтарлықтай төмен екенін көрсетеді. Бүлінген файлдарды бүлінбеген файлдарды биттік қосу арқылы толығымен қалпына келтіруге болады. Теориялық тұрғыдан қалпына келтірілмеген шығындарға қол жеткізілсе де, тізбекті қалпына келтіру комбинацияларын табуға әрқашан мүмкіндік бар. Жартылай қорғалған көп өлшемді кодтарды қолданатын сақтау жүйесі кателерді түзетудің ыңғайлы технологиясы болып табылады. Баламалы әдістердің күрделілігі, соның ішінде қайталанатын декодтау әдісі, көп өлшемді Паритет алгоритмдерін қолдана отырып, ыдыратылған деректерді үлестірілген сақтау жүйесін кателерді түзетудің ыңғайлы технологиясына айналдырады.

Түйін сөздер: қауіпсіздік, таратылған сақтау, деректерді бөлу, көп өлшемді Паритет, шығындарды қалпына келтіру, паритеттік файлдар.

Abstract

ENHANCING SECURITY OF SHARED DATA USING MULTIDIMENSIONAL PARITY ALGORITHMS

Karipzhanova A.Zh.¹, Kozhakhmet K.T.¹, Zhumaliyeva R.Z.¹, Omirali A.M.¹, Bayazitov D.A.¹

¹NJSC «Narхоз University», Almaty, Kazakhstan

Distributed data storage using multidimensional codes can replace the traditional method of multiple backups to ensure security. Redundant data allows for partial recovery of separated parts, with recovery using code files generated

during separation and calculating parity bits with modulo-2 addition. Compared to checksum models, multidimensional codes with partial protection significantly reduce the probability of data loss due to storage failures. Damaged files can be fully restored using bitwise addition of undamaged files. Even theoretically unrecoverable losses can sometimes be recovered through chain recovery. Compared to iterative decoding and other alternatives, the utilization of multidimensional codes with partial protection in the storage system presents a more convenient fault tolerance technology. These multidimensional error-checking codes provide a simplified and user-friendly approach to error correction within the distributed storage system for partitioned data. By employing this method, the complexity associated with alternative techniques like iterative decoding is significantly reduced, further enhancing the convenience of error correction. It offers a more efficient and reliable means of protecting data against storage failures.

Keywords: security, distributed storage, data splitting, multidimensional parity, loss recovery, parity files.

1. Введение

Поиск новых методов обеспечения IT безопасности идет непрерывно, но пока для сохранения данных повсеместно используется репликация (многократное резервирование). Постоянный рост объема информации приводит к тому, что репликация оборачивается ростом аппаратных, энергетических и, в итоге, финансовых затрат. Избежать дорогостоящего резервного хранения можно попытаться путем операционного восстановления информации (исправление ошибок). В частности, авторами настоящей статьи апробирована возможность хранения файлов в распределенных базах данных (РБД) в расщепленном состоянии, когда расщепление файлов и их восстановление осуществляется с помощью патентованных многомерных кодов с частичной защитой от потерь данных, способные обрабатывать частичные потери мест хранения [1-3] (патенты: GB2467989 «Distributed Storage», UK; GB2463078 «Distributed Storage», UK; GB2463085 «Communication System», UK; GB2463087 «Data Storage», UK; GB2492981 «Data Storage», UK; HO1175001 «Data Storage», Hong Kong; US9026844 «Distributed Data Storage and Communication», USA).

Интерфейс фреймворка основан на веб-технологиях и использует простое соглашение HTTP (Hypertext Transfer Protocol), связанное с интуитивно понятными инновациями в AJAX /PHP (WEB 2.0). CMS Word Press используется для реализации фундаментальной системы управления контентом веб-части. Веб-сайт размещен компанией PS Internet Company LLP на выделенном сервере под управлением веб-сервера Apache 2.25 с PHP 7.0 и серверной операционной системы Linux Ubuntu. В качестве базы данных используется MySQL 5.0 [4].

За счет патентованных алгоритмов генерируются избыточные данные, позволяющие восстанавливать частичные утери расщепленных частей. Расщепленные данные не несут осмысленного содержания, и поэтому их можно хранить на любых доступных местах, не опасаясь несанкционированного доступа. Даже собрав все части расщепленных данных, без знания способа расщепления невозможно восстановить информацию. Алгоритм расщепления может использовать бесконечное множество способов расщепления, и поэтому доступ к данным имеет только владелец/создатель информации. При этом в случае частичной потери данных их восстановление производится за счет файлов четности, образующихся при процедуре расщепления, в которой основным действием является вычисление побитовой четности с суммированием по модулю «два». С помощью такой операции сложения между исходными файлами можно восстановить без искажений поврежденный (утерянный) файл.

2. Методы

Алгоритмы четности оперируют бинарной информацией. И суммирование, которое используется нами при расщеплении данных, сводится к определению четности. Причем суммирование ведется строго позиционно («побитово») и по модулю. Получается третий файл, в котором сохраняются просуммированные биты. Суммирование производится по модулю «два», а именно: включается математическая операция «исключающее ИЛИ». Если, например, в первом файле ноль и во втором – ноль, то в третьем будет ноль. Если в первом – ноль, а во втором – единица, то в третьем будет единица. Если в первом единица, во втором ноль, то в третьем тоже будет единица. Если и там, и здесь единица, то в третьем файле получается ноль. Этот третий файл и является файлом четности, а вся операция есть операция четности: из двух файлов получается три. Если удалить любой из этих файлов, то, выполнив операцию сложения между оставшимися двумя, всегда можно восстановить без искажений третий файл. Эта идея, базирующаяся на свойствах четности, и лежит в основе решения задач распределенного хранения информации с расщеплением данных с применением алгоритмов многомерной четности. До сих пор свойство четности использовалось только для того, чтобы обнаружить повреждение файла и

определить, какая информация утеряна, не более того (Redundant Arrays of Inexpensive Disks - далее RAID). В таких системах информация делится на одинаковые блоки, затем вычисляется четность, которая записывается в отдельный файл, содержащий биты четности. И когда, например, при передаче данных бит четности теряется, при сложении данных бит четности не совпадет. Однако этот результат в RAID нужен только для того, чтобы удалить файл, если обнаружится его повреждение. В случае потери при передаче данных делается повторный запрос. Затем утерянный файл восстанавливается из мест резервного хранения (метод репликаций).

Между тем в апробированном нами методе многомерной четности утерянная информация восстанавливается с расчетной вероятностью. Как сказано выше, если поделить файл (носитель данных) на две одинаковые части, вычислить побитовую четность и записать результат в третий файл, то всегда можно восстановить потерю (или повреждение, если известно, какой файл поврежден) любого из трех файлов.

Рассмотрим, для примера, случай трех файлов, когда один из них теряется. Побитово складываем по модулю два оставшиеся файла. Полученный файл четности в точности равен потерявшему файлу. Это случай одномерной четности (рис. 1).

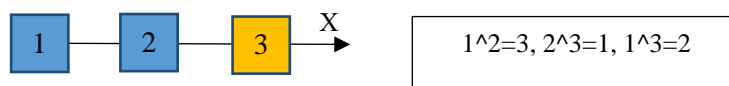


Рисунок 1. Вариант одномерной четности

Если теперь поделить файл на четыре одинаковые части, расположить их в виде квадрата и вычислить побитовую четность по строкам и по столбцам, то получим $4+4+1=9$ файлов. Это случай двумерной четности (рис. 2).

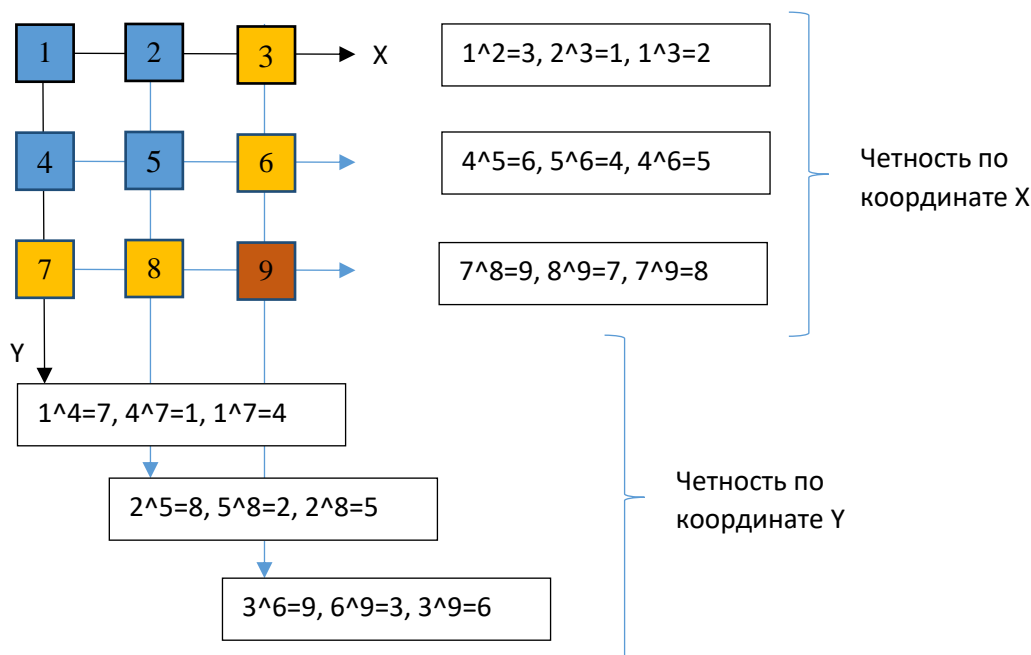


Рисунок 2. Вариант двумерной четности

В случае двумерной четности, очевидно, что мы можем потерять любые три файла из девяти, что равносильно потере файлов по одной из координат, но затем восстановить всю исходную информацию. Чтобы показать это, рассмотрим для простоты случай записи по одному биту (информация хранится на 9 дисках).

Результат суммирования приведен в таблице 1.

Таблица 1. Результат суммирования по четности для 9 дисков

№	Бит	№	Бит	№	Бит
1-диск	1	2-ой диск	0	7-ой диск, четность по 1-ой строке	1
3-ий диск	0	4-ый диск	1	8-ой диск, четность по 2-ой строке	1
5-ый диск, четность по 1-ой колонке	1	6-ый диск, четность по 2-ой колонке	1	9-ый диск, четность четности	0

В такой системе с двумерной четностью могут выйти из строя 3 диска из 9 одновременно, и данные всегда можно восстановить, т.к. восстанавливать биты можно по двум координатам. А это уже равносильно 3-х-кратному копированию при репликации. Более того, можно потерять даже 4 диска из 9, и все еще будет возможность восстановить информацию с вероятностью 92%. Можно потерять даже до 5 дисков и восстановить с вероятностью 67% [5].

В системе с двумерной четностью, конечно, в реальности необходимо больше дисков и большое количество данных, потому что в этом варианте должно быть больше данных четности. Но, в двумерной четности избыточность равна 2,25 (данные записываются на 4 диска и дополнительно еще на 5 дисках: четность $9/4=2,25$).

Если сравнить с репликацией, то избыточность двумерной четности получается почти как при двукратной репликации с избыточностью 2,0, когда записываются две копии. А потерять в системе с двумерной четностью можно от 3 до 5 дисков, т.е. надежность – как при 3-5-кратной репликации.

3. Связанные работы

На сегодняшний день стандартным способом обеспечения безопасности является метод многократных репликаций.

Кроме того, были изучены различные подходы к повышению информационной безопасности. К ним относятся использование алгоритма Рида-Соломона [6], использование технологий fountain [7] и включение контрольных сумм в систему RAID5/6 и кодов, обеспечивающих локальную четность LRC [8]. Также были достигнуты успехи в области кодов с исправлением ошибок, в частности в теории каналов со стираниями, первоначально введенной В. Петерсоном [9]. Впоследствии М. Лаби расширил эту модель каналов со стираниями в своих исследованиях [10].

3.1. Метод репликаций

Алгоритмы проверки четности, которые являются одновременно простыми и быстродействующими, приобрели значительную популярность в алгоритмах исправления ошибок. Они особенно широко используются, с разной эффективностью, в широко используемых RAID-системах, реализованных в отказоустойчивых дисковых массивах для серверов. Однако следует отметить, что, хотя эти высокоскоростные и простые алгоритмы проверки четности подходят для обычных приложений, они не обеспечивают возможности восстановления после множественных потерь данных. Например, распространенный вариант RAID5 при отказе одного диска переходит в состояние восстановления, в котором начинается интенсивное чтение со всех дисков массива для восстановления данных отказавшего диска. Если при размерах дисков порядка нескольких гигабайт это не вызывает проблем, то с увеличением объемов дисков до терабайтов процесс может занять значительное время, в течение которого любой отказ еще одного диска приводит к полной потере всех данных.

Проблемы с надежностью стандартных RAID-массивов заставляют использовать более сложные конфигурации RAID с комбинированием различных схем, такие как RAID6, применять дополнительное зеркалирование. Известны коммерческие проприетарные варианты RAID такие как HP EVA с собственной технологией vRAID, RAID m + n с использованием стирающих кодов Рида-Соломона. Но все это приводит к еще большему удорожанию технологии.

Поэтому часто в RAID-массивах выделяют специально один диск для записи четности, с помощью которой можно восстановить данные со сломанного диска.

Чтобы пояснить смысл восстановления по четности, рассмотрим, например, случай RAID из 5 дисков. Пусть для простоты записываются четыре байта на четыре диска: 1, 2, 3 и 4. Результат суммирования по четности записывается на 5-й диск (таблица 2).

Таблица 2. Результат суммирования по четности в системе RAID

№	Бит							
1 диск	1	1	1	0	1	0	1	0
2 диск	0	0	1	0	1	1	1	0
3 диск	0	1	0	1	1	1	0	1
4 диск	1	1	1	0	0	1	0	1
5 диск – четность	0	1	1	1	1	1	0	0

Суммирование по четности производится вычислением «исключающего ИЛИ» битов между разными дисками. Его еще называют «сложением по модулю 2». При этом $0^0=0$, $0^1=1$, $1^0=1$, $1^1=0$. Метод называется суммированием по четности, потому что в результате всегда должно быть четное количество битов вместе с вычисленным.

Из таблицы видно, что если складывается четное количество единиц, то расчетный бит четности должен быть равен нулю: четность не меняется. Например, в первой колонке битов: 1 диск = 1; 2 диск = 0; 3 диск = 0; 4 диск = 1. Две единицы, на 5-й диск записывается 0. Если количество битов нечетное, то бит четности будет 1, превращая таким образом общее количество единиц в четное число. Например, во второй колонке: 1 диск = 1; 2 диск = 0; 3 диск = 1; 4 диск = 1. Три единицы, на 5-й диск записывается 1. Тогда получаем 4 единицы, т.е. «добиваемся» четного числа 4. Если теперь любой из пяти дисков сломается, то всегда можно восстановить пропавшие данные, записывая в новый диск «1» до четности, если количество единиц на оставшихся 4 дисках нечетное, и записывая «0», если количество единиц на оставшихся 4 дисках четное.

Но все же в современных RAID-массивах предпочитают отказываться от выделения диска для записи четности. Почему?

В системах RAID, использующих диск четности, можно восстановить данные при отказе только одного диска из массива. Диск просто меняют на новый, и начинается восстановление данных. Этот процесс называется восстановлением, при этом считываются данные одновременно со всех оставшихся дисков для вычисления четности. Если во время восстановления откажет еще один диск, то все данные можно потерять полностью, так как уже невозможно ничего восстановить. Риск двойного отказа тем выше, чем дольше процесс восстановления. При современных объемах, когда они достигают терабайтов и более, это может длиться несколько дней. Возможна ситуация с наличием так называемого «гнилого» бита (сбойного бита), являющегося одним из заводских параметров жестких дисков. В этом случае, который проявляется именно при больших объемах хранения, риск потери данных в RAID становится неприемлемо высоким.

В связи с этим в современных многодисковых системах хранения Big Data отказываются от RAID-массивов, и единственным методом защиты данных, де-факто, остается многократное копирование (репликация). Причем репликация идет не только между узлами, но и внутри узлов. Даже внутри DATA-центра приходится делать репликацию от одного сервера к другому.

3.2. Коды для исправления ошибок, включающие контрольную сумму

Коды исправления ошибок, включающие контрольные суммы, обычно используются в качестве простого и эффективного метода восстановления после потери данных.

Когда данные $D = \{d_0, d_1, \dots, d_n\}$ разделены на блоки одинакового размера, сумма данных может быть вычислена с использованием контрольной суммы $C_D = d_0 + d_1 + \dots + d_n$. В случае потери блока d_i он может быть восстановлен путем пересчета суммы оставшихся данных $C'D$, и разница между файлом суммы и пересчитанной суммой будет равна отсутствующему блоку, т.е. $d_i = C_D - C'D$. Суммирование по модулю используется во время сложения для определения различий между блоками данных, гарантируя, что объем данных, необходимый для контроля контрольной суммы, не превышает размер блока. В двоичной логике вычисление контрольной суммы упрощается до суммирования по модулю 2, реализуемого с помощью одной операции XOR, которая известна как контроль четности в контексте обработки двоичных данных.

Первоначально эта технология применялась в RAID-системах для многодисковых систем. В RAID 3/4/5/6 данные делятся на блоки и вычисляется четность, при этом блоки данных и блоки контроля четности распределяются по разным дискам внутри массива. Такой массив может восстановиться после сбоя одного диска. Однако при работе с большими объемами данных RAID сам по себе может не обеспечить приемлемый уровень надежности. Восстановление после сбоя, которое включает в себя восстановление данных с вышедшего из строя диска и запись их на новый функциональный диск, становится неприемлемо трудоемким, поскольку для расчета требуются данные со всех дисков. Во время процесса восстановления (перестройки) система хранения данных недостаточно защищена от последующих сбоев, и потеря другого диска может привести к безвозвратной потере данных.

С другой стороны, RAID-массивы - это дорогостоящие устройства, предназначенные в первую очередь для высокоскоростного онлайн-хранения и обмена данными. RAID-контроллер внутри устройства обеспечивает одновременное чтение и запись на все диски, тем самым увеличивая общую скорость обмена данными. Для удовлетворения потребности в хранилищах большой емкости разрабатываются специализированные системы, которые сочетают относительно более медленные, но емкие диски с технологиями распределенного хранения, обеспечивающими устойчивость к сбоям дисков. Эти системы хранения данных также называются RAID, хотя в них не используются традиционные проприетарные технологии контроля четности. Для этих многодисковых технологий хранения данных существуют различные обозначения, такие как RAID 7.3 или RAID $m+n$, как в открытой, так и в проприетарной формах, которые отличаются от обычных RAID-систем и восходят к первоначальному значению аббревиатуры RAID — избыточный массив недорогих дисков, означающий массив доступных дисков [11].

3.3. Использование кодов Рида-Соломона

Из-за недостатков RAID-систем, связанных с высокой избыточностью, стоимостью и низкой надежностью, существует необходимость в изучении технологий хранения, использующих более продвинутые методы. Различные системы, часто называемые RAID $n+m$, используют помехоустойчивый алгоритм кодирования данных Рида-Соломона (RS). Примечательными примерами являются RAID 7.3 от RAIDIX из Санкт-Петербурга и решение IBM для хранения данных, основанное на технологии Cleversafe, приобретенное IBM.

Алгоритм RS позволяет настроить желаемую отказоустойчивость путем указания количества блоков, которые могут быть восстановлены после потери. Он может обнаруживать поврежденные или отсутствующие блоки и определять местоположение блоков, требующих восстановления. Теоретически алгоритм может обнаруживать t ошибок и восстанавливать информацию, используя избыточные данные, в результате чего получается в общей сложности $n+2t$ блоков, где n представляет собой количество блоков данных.

Метод RS максимизирует емкость хранилища при сохранении избыточности, близкой к теоретическому пределу. Однако это требует больших вычислительных затрат из-за сложных вычислений и может привести к значительной задержке системы при обработке обширного обмена информацией с системой хранения. Кроме того, алгоритму не хватает масштабируемости, поскольку любое увеличение емкости хранилища требует полного пересчета данных по всему массиву, учитывая жесткую алгебраическую структуру алгоритма RS. В современных многодисковых системах хранения данных с высокой частотой отказов даже незначительное отклонение от порогового значения отказа может привести к полной потере данных, поскольку отказоустойчивость алгоритма RS имеет пороговую природу. Другая проблема, связанная с распределенным хранилищем, заключается в том, что алгоритм RS требует для вычислений данных со всех дисков массива, что делает доступность данных уязвимой для скачков сетевого трафика хранилища.

Многомерные коды коррекции ошибок, известные как помехоустойчивое кодирование, предлагают различные подходы для преодоления этих проблем [12]. Мы разработали простой, ресурсосберегающий алгоритм, который обеспечивает надежность, сравнимую с алгоритмом RS, но лишенный его недостатков. Хотя он обеспечивает более высокую избыточность, чем алгоритм RS, она значительно ниже, чем избыточность, достигаемая с помощью методов репликации [13].

4. Результаты

4.1. Четность в одном измерении.

Давайте разделим данные на два блока одинакового размера и вычислим их четность.

$$D \rightarrow \{d_0, d_1\}, \quad d_2 = d_0 \oplus d_1 \quad (1)$$

где \oplus обозначает операцию XOR, которая выполняет побитовое сложение по модулю 2, стоит отметить, что результирующие блоки данных обладают способностью восстанавливать любую недостающую часть. Покажем, что, например, $d_0 = d_1 \oplus d_2$. Это можно продемонстрировать, например, выполнив операцию с обеими сторонами уравнения d_1 . Используя свойство инволюции операции XOR, мы упрощаем уравнение $d_1 \oplus d_1$, чтобы получить правильное равенство (1).

$$d_1 \oplus (d_0 = d_1 \oplus d_2) \rightarrow d_0 \oplus d_1 = d_2 \quad (2)$$

Аналогично доказывается равенство $d_1 = d_0 \oplus d_2$ с использованием операции $d_0 \oplus$:

$$d_0 \oplus (d_1 = d_0 \oplus d_2) \rightarrow d_0 \oplus d_1 = d_2 \quad (3)$$

В результате мы получаем набор из трех соотношений, которые позволяют восстановить любой потерянный блок данных в пределах набора:

$$\begin{cases} d_0 = d_1 \oplus d_2 \\ d_1 = d_0 \oplus d_2 \\ d_2 = d_0 \oplus d_1 \end{cases} \quad (4)$$

Результирующая тройка данных может быть выражена в виде одномерного вектора, выровненного по оси x , где элементы данных связаны между собой отношениями четности:

$$D \rightarrow \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}, \quad d_i = d_{i+1} \oplus d_{i-1} \quad (5)$$

где $i = \{0, 1, 2\}$ вычисления выполняются с использованием операции по модулю 3. Это подразумевает, что формула четности работает в контексте арифметики по модулю (5) $0-1=3$ и $3+1=0$.

4.2. Вычисление четности в двух измерениях

Давайте разделим исходные данные на четыре блока одинакового размера. Мы расположим эти блоки в виде двумерной матрицы 2×2 . Чтобы преобразовать матрицу, мы расширим ее до матрицы 3×3 , добавив пустой столбец справа и пустую строку внизу. Далее мы вычислим контрольные суммы для каждой строки и столбца и поместим результаты в пустые места.

$$\begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} \\ d_{10} & d_{11} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} \\ d_{20} & d_{21} & \end{bmatrix} \quad (6)$$

Результирующая матрица данных обладает двумерной четностью, что позволяет восстанавливать любые потерянные данные с помощью вычислений как по столбцам, так и по строкам. Это демонстрирует применение многомерного кода проверки четности [11].

Чтобы завершить матрицу, мы вычислим четность четности. Это приведет к двум равенствам – $d_{20} \oplus d_{22} = d_{22}$ и $d_{02} \oplus d_{12} = d_{22}$, где \oplus , напомним, что этот знак представляет операцию XOR, которая выполняет побитовое сложение по модулю 2. Мы демонстрируем это, выявляя значения четности и рассматривая коммутативность операции XOR:

$$d_{20} \oplus d_{21} = (d_{00} \oplus d_{10}) \oplus (d_{01} \oplus d_{11}) = d_{22}$$

$$d_{02} \oplus d_{12} = (d_{00} \oplus d_{01}) \oplus (d_{10} \oplus d_{11}) = (d_{00} \oplus d_{10}) \oplus (d_{01} \oplus d_{11}) = d_{22}' \quad (7)$$

получим $d_{22}' = d_{22}$.

Результирующая матрица 3×3 в двух измерениях будет содержать данные в своих столбцах и строках, соединенных с помощью операции XOR, применяемой к соседним парам данных. В результате каждый блок данных может быть получен с помощью операции XOR двумя способами, как по горизонтали, так и по вертикали:

$$D \rightarrow \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} \end{bmatrix}, \begin{cases} d_{i,j} = d_{i+1,j} \oplus d_{i-1,j} \\ d_{i,j} = d_{i,j+1} \oplus d_{i,j-1} \end{cases} \quad (8)$$

где числовое значение индекса определяются по модулю 3, что показывает кольцо вычетов $\{0, 1, 2\}$. Эти соотношения можно понимать как двумерную четность в координатах x и y , которые соответствуют одномерным векторам, полученным из строк и столбцов соответственно.

4.3. Вычисление четности в трёх измерениях

Следуя описанному алгоритму, становится возможным сгенерировать трехмерную матрицу путем деления данных на 8 блоков одинакового размера и вычисления данных о четности по трем координатам x, y, z :

$$D \rightarrow \left\{ \begin{bmatrix} d_{000} & d_{001} & d_{002} \\ d_{010} & d_{011} & d_{012} \\ d_{020} & d_{021} & d_{022} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{100} & d_{101} & d_{102} \\ d_{110} & d_{111} & d_{112} \\ d_{120} & d_{121} & d_{122} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{200} & d_{201} & d_{202} \\ d_{210} & d_{211} & d_{212} \\ d_{220} & d_{221} & d_{222} \end{bmatrix} \right\} \quad (9)$$

путем установления трех взаимосвязей между блоками данных:

$$\begin{cases} d_{i,j,k} = d_{i+1,j,k} \oplus d_{i-1,j,k} \\ d_{i,j,k} = d_{i,j+1,k} \oplus d_{i,j-1,k}, \text{ где } (i,j,k) \bmod 3 = \{0,1,2\} \\ d_{i,j,k} = d_{i,j,k+1} \oplus d_{i,j,k-1} \end{cases} \quad (10)$$

Если мы рассматриваем двумерную матрицу, описанную ранее, как состоящую из одномерных элементов (5), то трехмерная матрица формируется путем последовательного сложения наборов из трех двумерных матриц (9). Третья матрица, представленная координатной плоскостью $z=2$, генерируется на основе вычисленных данных о четности двух верхних плоскостей. В общем, любой блок данных со значением индекса 2 является блоком четности.

В результате мы получаем куб размером $2 \times 2 \times 2$, состоящий из исходных блоков данных со значениями индекса 0 или 1, а также трех граничных плоскостей, содержащих данные о четности, одна из которых имеет значение индекса 2.

4.4. N -мерная четность

Описанную модель расщепления данных на блоки и способ генерации блоков четности можно расширить на любую n -мерную четность. При этом оригинальные данные будут расщепляться на 2^n блоков, после обработки алгоритмом генерации четностей мы получим 3^n блоков, где n – это размерность четности. Полученные блоки будут связаны между собой соотношениями четности:

$$\begin{cases} d_{i,j,k,\dots,n} = d_{i+1,j,k,\dots,n} \oplus d_{i-1,j,k,\dots,n} \\ d_{i,j,k,\dots,n} = d_{i,j+1,k,\dots,n} \oplus d_{i,j-1,k,\dots,n} \\ d_{i,j,k,\dots,n} = d_{i,j,k+1,\dots,n} \oplus d_{i,j,k-1,\dots,n}, \text{ где индексы } \bmod 3 = \{0,1,2\} \\ \dots \\ d_{i,j,k,\dots,n} = d_{i,j,k,\dots,n+1} \oplus d_{i,j,k,\dots,n-1} \end{cases} \quad (11)$$

Ключевые характеристики многомерной четности включают:

1. По мере увеличения размерности четности увеличивается и количество методов восстановления потерянных блоков данных. В n -мерном пространстве фундаментальное свойство одномерного вектора четности преобразуется в перекрестный контроль четности в каждом из n направлений, позволяя восстановить потерянный блок, используя оставшиеся два.

2. По мере увеличения размерности расширяется не только контроль перекрестной четности, но и становятся доступными дополнительные опции для восстановления цепочки. Более высокая размерность предоставляет возможность восстановления "отсутствующих" данных для любой заданной координаты (в случае потенциально критической потери) путем использования других файлов. Это позволяет осуществлять пошаговый процесс восстановления, при котором требуемый файл восстанавливается после последовательного восстановления других файлов.

4.5. Иллюстрация пошагового восстановления

Допустим, что в матрице двух измерений отсутствуют 5 блоков данных. В случае с файлом d_{00} это представляет собой потенциально необратимую ситуацию, поскольку ни одна из координат не позволяет его восстановить:

$$\begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} & d_{11} & d_{12} \\ d_{20} & d_{21} & \end{bmatrix} \quad (12)$$

Но есть два варианта цепочечного восстановления:

$$\begin{aligned} d_{10} = d_{11} \oplus d_{12} \rightarrow d_{00} = d_{10} \oplus d_{20} & \text{ – в два шага} \\ d_{22} = d_{20} \oplus d_{21} \rightarrow d_{02} = d_{22} \oplus d_{12} \rightarrow d_{01} = d_{11} \oplus d_{21} \rightarrow d_{00} = d_{01} \oplus d_{02} & \text{ – в четыре шага} \end{aligned} \quad (13)$$

Наличие опций восстановления цепочки в многомерных кодах четности устраняет пороговый характер вероятности восстановления данных. Это означает, что даже в сценариях, где происходят теоретические безвозвратные потери, всегда существует возможность поиска комбинаций для восстановления цепочки.

В двумерной матрице четности, состоящей из 9 файлов, каждый файл соединен с двумя соседними файлами через паритетные связи, что позволяет осуществлять восстановление с их поддержкой. Это приводит к следующим наблюдениям:

- а) потери от 1 до 3 мест хранения файлов всегда гарантированно будут восстановлены.
- б) потери в 4-5 местах обеспечивают варианты восстановления цепочки, обеспечивая ненулевую вероятность восстановления.
- в) естественно, наиболее серьезным сценарием потери файлов является отсутствие 6 из 9 файлов.

4.6. Различные сценарии потери данных, вызванные отказами хранилища

Давайте определим критическую комбинацию сбоя DL^k как сценарий, при котором исходный файл не может быть восстановлен при потере k из n мест хранения. Например, в случае двумерной матрицы, если 4 из 9 ячеек хранения будут потеряны, набор критических комбинаций будет следующим:

$$DL^{4,9} = \left\{ \begin{aligned} & \left[\begin{bmatrix} d_{02} \\ d_{12} \\ d_{20}d_{21}d_{22} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{02} \\ d_{10}d_{11}d_{12} \\ d_{22} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{01} \\ d_{11} \\ d_{20}d_{21}d_{22} \end{bmatrix} \right], \\ & \left[\begin{bmatrix} d_{00} \\ d_{10} \\ d_{20}d_{21}d_{22} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{00} \\ d_{10}d_{11}d_{12} \\ d_{20} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{00}d_{01}d_{02} \\ d_{10} \\ d_{20} \end{bmatrix} \right], \\ & \left[\begin{bmatrix} d_{00}d_{01}d_{02} \\ d_{11} \\ d_{21} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{00}d_{01}d_{02} \\ d_{12} \\ d_{22} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} d_{01} \\ d_{10}d_{11}d_{12} \\ d_{21} \end{bmatrix} \right] \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Суммарное количество потенциальных комбинаций из k местоположений из n эквивалентно количеству комбинаций из n выбранных k [12]:

$$C_k^n = \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k(k-1)\dots 1} = \frac{n!}{(n-k)!k!} \quad (15)$$

Невозможность восстановления после потери четырех блоков возникает, когда вышедшие из строя места хранения, расположенные в вершинах двумерной матрицы, приводят к пересекающимся файловым координатам, которые формируют парные потери.

Для каждой комбинации из 2 из 3 будет 2 комбинации из 2 из 3, в результате чего в общей сложности получится $DL^{4,9} = 9$ комбинаций.

Невозможность восстановления после потери пяти блоков возникает, когда места хранения расположены таким образом, что любые четыре из них образуют вышеупомянутую комбинацию.

Учитывая, что доступно пять позиций, общее количество комбинаций равно $DL^{5,9} = DL^{4,9} \cdot 5 = 45$.

Теперь давайте подсчитаем вероятность потери данных при случайном отказе четырех дисков из девяти. Каков шанс получить комбинацию $DL^{4,9}$, которая приведет к потере данных?

Вероятность потери данных $Q^{4,9}$ при выходе из строя четырех мест хранения:

$$Q^{4,9} = \frac{\text{число } DL^{4,9}}{\frac{n!}{(n-m)!m!}} = \frac{9}{\frac{9!}{(9-4)!4!}} = \frac{9}{126} = 0,0714 \quad (16)$$

Предположим теперь, что случайным образом отказывают 5 дисков. Какова вероятность, что мы получим при этом комбинацию $DL^{5,9}$ ведущую к потере данных?

Вероятность $Q^{4,9}$ потери данных при отказе пяти мест хранения:

$$Q^{5,9} = \frac{\text{число } DL^{5,9}}{\frac{n!}{(n-m)!m!}} = \frac{45}{\frac{9!}{(9-5)!5!}} = \frac{45}{126} = 0,3571 \quad (17)$$

Вероятность потери данных с комбинациями $Q^{6,9}$, $Q^{7,9}$, $Q^{8,9}$, $Q^{9,9}$ при потере 6 или более мест хранения равна 1,0. Другими словами, такие потери мест хранения являются невозможными и приводят к полной потере данных.

С увеличением количества дисков в массиве, надежность многодисковых систем снижается. Путем использования статистической модели, учитывающей вероятность отказов дисков, можно утверждать, что частота отказов λ в массиве из n дисков увеличивается примерно пропорционально n [13]. Вероятность отказа диска Q_{dev} в течение заданного временного интервала t может быть выражена следующим образом:

$$Q_{dev} = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (18)$$

Для массива, состоящего из n дисков, вероятность сбоя диска Q_{arr}^n будет определяться как:

$$Q_{arr}^n = 1 - e^{-n\lambda t} \quad (19)$$

Заводской показатель, представляющий качество диска, MTBF (среднее время между отказами), соответствует параметру λ , который указывает ожидаемое количество часов работы диска до первого отказа.

В текущем контексте наше внимание сосредоточено на определении вероятности одновременных отказов k дисков из заданного набора n . Хотя такие сбои могут возникать в массиве из n дисков, только сценарий фатального $DL^{k,n}$, приведет к сбою хранилища $C_k^n = \frac{n!}{(n-k)!k!}$. Это подразумевает, что нам нужно учитывать совместную вероятность k отказов диска из n , наряду с вероятностью возникновения фатального сценария $Q^{k,n}$. Предполагая, что отказ отдельных дисков является случайным и независимым событием, мы можем рассчитать вероятность сбоя хранилища k следующим образом:

$$Q_{arr}^{k,n} = Q^{k,n} \cdot (Q_{arr}^n)^k \quad (20)$$

4.7. Вероятность отказа СХД с двумерной четностью

Приведем примерный расчет вероятности отказа СХД с двумерной четностью, использующей типовые жесткие диски с MTBF ≈ 800 тыс. часов (Mean Time Between Failure – время между сбоями или наработка на отказ). Вероятность сбоя диска в течение года с MTBF будет:

$$Q_{dev} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{8760}{800\,000}} \cong 0,0109 \quad (21)$$

где $\lambda = 1/\text{MTBF}$, а $t = 1$ год (8760 часов). Диски с таким MTBF имеют вероятность отказа в течение года 1,09%.

Вероятность сбоя какого-либо диска в течение года в массиве из 9 дисков, соответственно будет уже 9,38%:

$$Q_{dev} = 1 - e^{-9\lambda t} = 1 - e^{-9 \cdot \frac{8760}{800\,000}} \cong 0,0938 \quad (22)$$

Вероятность отказа СХД при отказе 4 дисков, т.е. получение фатального сценария будет 0,00055273%:

$$Q_{arr}^{4,9} = Q^{k,n} \cdot (Q_{arr}^9)^4 \cong 0,0714 \cdot (0,0938)^4 \cong 5,5273 \cdot 10^{-6} \quad (23)$$

Вероятность отказа СХД при отказе 5 дисков будет 0,0002593%:

$$Q_{arr}^{5,9} = Q^{5,9} \cdot (Q_{arr}^9)^5 \cong 0,3571 \cdot (0,0938)^5 \cong 2,5930 \cdot 10^{-6} \quad (24)$$

5. Обсуждение

Избыточность СХД, использующей технологию многомерной четности для повышения надежности хранения в многодисковых массивах, определяется соотношением оригинальных файлов к общему числу файлов вместе с избыточностью.

Как указывалось при обсуждении свойств многомерной четности, она равна соотношению $R = (3/2)^n$, где n – размерность четности.

Для СХД с двумерной четностью $R = 2,25$, что практически равносильно двукратной репликации или зеркалированию. Вероятность отказа СХД с зеркалированием на два диска будет равна вероятности отказа двух дисков одновременно. Учитывая формулу (19) для вероятности отказа диска в массиве и считая события отказа независимыми и совместными, получаем вероятность отказа 2,166%:

$$Q_{mirror} = (1 - e^{-2\lambda t})^2 = (1 - e^{-2 \cdot \frac{8760}{800\,000}})^2 \cong 0,02166 \quad (25)$$

В СХД с технологией двумерной четности при сравнимой избыточности мы получаем вероятности отказа от 0,00055273% до 0,0002593%.

Таким образом, расчетная вероятность потерь при отказе мест хранения при использовании кодов многомерной четности значительно меньше, чем при использовании иных вариантов СХД. Многомерные коды четности по своей сути не имеют определенной пороговой вероятности восстановления данных. Это означает, что даже в сценариях, где теоретически происходят безвозвратные потери, всегда существует возможность обнаружения комбинаций восстановления цепочки. Однако важно отметить, что надежность многодисковых систем обычно снижается по мере увеличения количества дисков в массиве. Но избыточность СХД, использующих технологию многомерной четности для повышения надежности хранения в многодисковых массивах, теоретически эквивалентна многократной репликации.

6. Выводы

Способ хранения и передачи файлов без использования шифрования, а только за счет расщепления файлов по алгоритмам многомерной четности обеспечивает конфиденциальность и гарантирует безопасность содержимого от несанкционированного доступа. Главная особенность этой технологии, в отличие от существующих методов обеспечения безопасности, заключается в ее способности создавать внутреннюю модель хранения и обработки данных, которая является непротиворечивой и актуальной, обладая высоким уровнем защиты от внешних вторжений [14].

Во-первых, система не позволяет воспользоваться информацией в случае несанкционированного доступа. Разделенные данные не содержат существенной информации. Кроме того, процесс восстановления может быть выполнен с использованием только части разделенных данных, что приводит к регенерации мест хранения [13]. При этом в отличие от метода резервирования (многократного копирования), система устроена так, что чем больше мест хранения используется, тем большее количество информации расщепляется. Фрагменты информации хранятся в разных местах. Желаящему добыть информацию, придется собирать фрагменты со всех мест хранения. Но даже если он соберет то, что расщеплено, он должен знать, каким образом соединить части. Способ же расщепления/восстановления записан в мета-файле, который предоставляет доступ к информации. В шифровании есть ключ, в нашем методе – мета-файл. Это файл, в котором описан способ расщепления, именно с его помощью можно собрать то, что расщеплено.

Конечная цель технологии подразумевает функционирование базы данных, в которой частные пользователи, компании и организации могут хранить свои файлы, будучи уверенными в их безопасности.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках грантового финансирования МНУВО по проекту AP13068084 «Разработка технологии детектирования аномального (обманчивого) поведения респондента с использованием алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) на основе изменения характеристик голоса и речи» (конкурс молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы).

Список использованной литературы:

- 1 Сыргабеков И., Задаулы Е., Курманбаев Е. Защита информационных баз по методу распределенного хранения // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. – №5. – 2014. – С. 141-153.
- 2 Задаулы Е., Курманбаев Е., Сыргабеков И. Инновационная система безопасности на базе распределенного хранения информации с расщеплением данных // Patriot Engineering. – №2 (7). 2015. С. 111-119.
- 3 Карипжанова А.Ж., Гудов А.М. Организация распределенных баз данных информационных систем методом расщепления данных // Материалы XIV (XLV) Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей», г. Кемерово, Россия, 25 апреля 2019 г. – Кемерово, 2019.
- 4 Kurmanbaev E.A., Syrgabekov I. N., Zadauly E. Karipzhanova A.Zh., Urazbaeva K.T. Information Security System on the Basis of the Distributed Storage with Splitting of Data // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – № 8. – pp. 1703-1711.
- 5 Karipzhanova A., Sagindykov K., Dimitrov K. Justification of the method and algorithm of multidimensional parity control in distributed databases of information systems // Proc. X National Conference with International Participation «Electronica 2019», May 16-17, 2019, Sofia, Bulgaria. – <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8816819/proceeding>. – DOI: 10.1109/ELECTRONICA.2019.8825600.
- 6 Plank J.S. Optimizing Cauchy Reed-Solomon Codes for Fault-Tolerant Storage Applications. – Tennessee, 2005.
- 7 Shokrollahi A. Transactions on Information Theory // Raptor Codes. – 2006. – Vol. 52. – P. 2551-2567.
- 8 Lee J.H. WEAVING Codes: Highly Fault Tolerant Erasure Codes for Storage Systems, in FAST-2005: 4th Usenix Conference on File and Storage Technologies, 2005.
- 9 Peterson W.W., Weldon E.J. Error-Correcting Codes / 2nd edition. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1972.
- 10 Luby M. LT Codes // Proc. of the 43rd Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science (FOCS), 2002.
- 11 Patterson D.A., Gibson G., Katz R.H. A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID) // Proceed. of the 1988 ACM SIGMOD conf. on Management of Data. – Chicago IL, 1988. – P. 109-116.
- 12 Wong J., Shea M., Tan F. Multidimensional Codes. – The Wiley Encyclopedia of Telecommunications, 2016.
- 13 Карипжанова А.Ж. Тестирование системы хранения информации с применением алгоритмов многомерной четности, устойчивых к частичным потерям мест хранения // Вестник ЕНУ. Серия Математика. Компьютерные науки. Механика. – 2019. – Т. 129. – №4. – С. 67-76.
- 14 Карипжанова А.Ж., Сагындыков К.М. Способы повышения надежности хранения информации в базах данных // Вестник КазГЮИУ. – 2018. – №3(39). – С. 265-270.

References:

- 1 Syrgabekov I., Zadauly E., Kurmanbaev E. (2014) Zashhita informacionnyh baz po metodu raspredelenogo hranenija [Protecting infobases using the distributed storage method]. Doklady Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. №5. 141-153. (In Russian)

- 2 Zadauly E., Kurmanbaev E., Syrgabekov I. (2015) *Innovacionnaja sistema bezopasnosti na baze raspredelennogo hranenija informacii s rasshhepleniem dannyh [Innovative security system based on distributed information storage with data splitting]. Patriot Engineering. №2 (7), 111-119. (In Russian)*
- 3 Karipzhanova A.Zh., Gudov A.M. (2019) *Organizacija raspredelennyh baz dannyh informacionnyh sistem metodom rasshheplenija dannyh [Organization of distributed databases of information systems by data splitting method]. Materialy XIV (XLV) Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenyh «Obrazovanie, nauka, innovacii: vklad molodyh issledovatelej». (In Russian)*
- 4 Kurmanbaev E.A., Syrgabekov I. N., Zadauly E. Karipzhanova A.Zh., Urazbaeva K.T. *Information Security System on the Basis of the Distributed Storage with Splitting of Data // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – № 8. – pp. 1703-1711.*
- 5 Karipzhanova A., Sagindykov K., Dimitrov K. *Justification of the method and algorithm of multidimensional parity control in distributed databases of information systems // Proc. X National Conference with International Participation «Electronica 2019», May 16-17, 2019, Sofia, Bulgaria. – <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8816819/proceeding>. – DOI: 10.1109/ELECTRONICA.2019.8825600.*
- 6 Plank J.S. *Optimizing Cauchy Reed-Solomon Codes for Fault-Tolerant Storage Applications. – Tennessee, 2005.*
- 7 Shokrollahi A. *Transactions on Information Theory // Raptor Codes. – 2006. – Vol. 52. – pp. 2551-2567.*
- 8 Lee J.H. *WEAVER Codes: Highly Fault Tolerant Erasure Codes for Storage Systems, in FAST-2005: 4th Usenix Conference on File and Storage Technologies, 2005.*
- 9 Peterson W.W., Weldon E.J. *Error-Correcting Codes / 2nd edition. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1972.*
- 10 Luby M. *LT Codes // Proc. of the 43rd Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science (FOCS), 2002.*
- 11 Patterson D.A., Gibson G., Katz R.H. *A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID) // Proceed. of the 1988 ACM SIGMOD conf. on Management of Data. – Chicago IL, 1988. – pp. 109-116.*
- 12 Wong J., Shea M., Tan F. *Multidimensional Codes. – The Wiley Encyclopedia of Telecommunications, 2016.*
- 13 Karipzhanova A.Zh. (2019) *Testirovanie sistemy hranenija informacii s primeneniem algoritmov mnogomernoj chetnosti, ustojchivyh k chastichnym poterjam mest hranenija [Testing of the information storage system using multidimensional parity algorithms that are resistant to partial loss of storage locations]. Vestnik ENU, Serija "Matematika. Komp'yuternye nauki. Mehanika". №4, 67-76. (In Russian)*
- 14 Karipzhanova A.Zh., Sagindykov K.M. (2018) *Sposoby povyshenija nadezhnosti hranenija informacii v bazah dannyh [Ways to increase the reliability of information storage in databases]. Vestnik KazGUU. №3(39), 265-270. (In Russian)*

А.Е. Назырова^{1,2*}, Г.Т. Бекманова¹, А.С. Муканова², М.Ж. Калдарова², Н. Тасболатұлы²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан

²Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

*e-mail: ayzhan.nazyrova@gmail.com

БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ ОНТОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Аңдатпа

Мақалада білім беру бағдарламасының құрылымы мен мазмұнын сипаттау үшін онтологиялық тәсілді қолдану нәтижелері, сонымен қатар курс талаптары мен оқыту нәтижелері арасындағы сәйкестіктің кейінгі талдауы қарастырылады. Зерттеудің практикалық нәтижесі Protégé 5.5.0 редакторында оқу барысында қалыптасатын дағдылар мен студенттерге қойылатын алдын ала біліктілік талаптары тұрғысынан зерттелетін пәндерді көрсететін онтологияны құру болып табылады. Оқу жоспарының моделі уақытқа тәуелділіктерді ескере отырып, оқу жылы бойына семестрлер мен курстардың тізбегін қамтиды. Құрылған онтология «Программалық инженерия» білім беру бағдарламасының деректерімен толтырылған. Авторлар логикалық әдістерді қолдана отырып, оқу жоспарының алдыңғы оқу кезеңдерінде қалыптасқан талаптар мен дағдыларға сәйкестігін тексеруге мүмкіндік беретін DL Query және SPARQL тілдерінде сұраныстарды әзірледі. Әзірленген онтологиялық және логикалық қорытынды ережелері білім беру үдерісін басқару жүйелерінде және әртүрлі пәндер бойынша оқу нәтижелерінің жүйелілігі мен бағдарлама тұтастығын интеллектуалды талдау үшін білім беру бағдарламасын жобалау құралдарында қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: онтология, пререквизиттер, білім беру бағдарламасының конструкторы.

Аннотация

А.Е. Назырова^{1,2}, Г.Т. Бекманова¹, А.С. Муканова², М.Ж. Калдарова², Н. Тасболатұлы²

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

²Международный университет Астана, г.Астана, Казахстан

СОЗДАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В статье рассматриваются результаты использования онтологического подхода для описания структуры и содержания образовательной программы, а также последующего анализа соответствия между требованиями к курсам и результатами обучения. Практическим результатом исследования является создание онтологии в редакторе Protégé 5.5.0, которая отражает изучаемые дисциплины с точки зрения навыков, которые формируются в ходе обучения, и предварительных требований к квалификации студентов. Модель учебного плана включает последовательность семестров и учебных курсов в течение академического года с учетом временных зависимостей. Созданная онтология заполняется данными из образовательной программы «Программная инженерия». Авторы разработали запросы на языке DL Query и SPARQL, которые, с использованием логических методов, позволяют проверить согласованность учебной программы с требованиями и навыками, формируемыми в предыдущие учебные периоды. Разработанная онтология и правила логического вывода могут быть использованы в системах управления образовательными процессами и инструментах проектирования образовательных программ для интеллектуального анализа целостности программы и согласованности результатов обучения по различным дисциплинам.

Ключевые слова: онтология, пререквизиты, конструктор образовательной программ.

Abstract

DEVELOPMENT OF AN ONTOLOGICAL MODEL OF THE EDUCATIONAL PROGRAM

Nazyrova A.E.^{1,2}, Bekmanova G.T.¹, Mukanova A.S.², Kaldarova M.Zh.², Tasbolatuly N.²

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Astana International University, Astana, Kazakhstan

The article discusses the results of applying an ontological approach to describe the structure and content of an educational program, followed by an analysis of the alignment between course requirements and learning outcomes. The practical outcome of the study involves the creation of an ontology in the Protégé 5.5.0 editor, representing the studied disciplines in terms of the skills acquired during the educational process and the prerequisites for student qualification. The curriculum model encompasses a sequence of semesters and academic year courses, taking into account temporal dependencies. The developed ontology is populated with data from the «Software Engineering» educational program.

The authors have formulated queries in DL Query and SPARQL languages, which, using logical methods, enable the examination of the educational program's consistency with the requirements and skills developed in previous study periods. The developed ontology and rules of logical inference can be employed in educational process management systems and educational program design tools for intelligent analysis of program integrity and the alignment of learning outcomes across various disciplines.

Keywords: ontology, prerequisites, educational program constructor.

Кіріспе

Ақпараттық технологиялар қазіргі заманғы білім беру саласында, сондай-ақ көптеген басқа салаларда маңызды рөл атқарады. Оқу процесін басқарудың ақпараттық жүйелерін қолданбай білім беру мекемелерін тиімді басқару мүмкін емес. Реляциялық деректер базасына негізделген дәстүрлі ақпараттық жүйелер адам ресурстарын басқару, студенттерді тіркеу, кесте құру және үлгерімді бақылау сияқты типтік есеп пен аналитикалық тапсырмаларды автоматтандырады. Дегенмен, білім беру бағдарламаларының мазмұнын басқару анағұрлым арнайы шешімдерді қажет ететін күрделірек міндет болып табылады.

Көптеген білім беру мекемелерінде «оқу жоспарларымен» және «курс жоспарларымен» жұмыс істеуге арналған интеграцияланған ақпараттық құралдар бар. Дегенмен, көбінесе бұл құралдар оқу курстары мен олардың ұзақтығы, бағалау нысандары және оқу жоспарындағы орны сияқты негізгі сипаттамаларын есепке алумен шектеледі. Ең жақсы жағдайда, жүйелер курсқа енгізілген тақырыптар тізімдерін береді, бірақ бұл тізімдер терең компьютерлік талдау үшін сирек қолайлы. Мәселе қолданыстағы ақпараттық жүйелердің білім беру мазмұнын басқарудың тиімді әдісін қамтамасыз етпеуінде.

Білім беру материалын қамтамасыз етуге және оқушылармен өзара әрекеттесуге арналған LMS (Learning Management Systems) пайдаланылған жағдайда жағдай аздап жақсарады. Дегенмен, бұл жағдайда да оқу материалдары әдетте бір курста да, әртүрлі курстар арасында да әртүрлі білім беру элементтері арасындағы байланысты талдауға мүмкіндік бермейтін «стандартты» модельдермен сипатталады. Қолданыстағы білім беру жүйелері мен құралдарының көпшілігінің басты мәселесі - білім беру мазмұнының семантикасын ресми түрде ұсынудың болмауы.

Онтологиялық тәсіл ақпаратты мағыналық график түрінде ұсынудан тұрады, мұнда ұғымдар түйіндермен, ал қатынастар шеттермен ұсынылған. Ресми түрде, онтология - бұл класстарды, қатынастарды, функцияларды және өлшем бірліктерін сипаттауға арналған әдістер мен ережелерді қамтитын жүйе. Бейресми мағынада, онтология белгілі бір қызығушылық саласы шеңберінде әлемге көзқарастың тәсілі болып табылады. Бұл сипаттама белгілі бір саладағы мағыналарын анықтайтын терминдер мен оларды қолдану ережелерін қамтиды.

Білім беру мен оқу бағдарламаларының қазіргі саласы талдаудың тиімді әдістерін және олардың дәйектілігін қамтамасыз етуді талап етеді. Оқу бағдарламаларының күрделілігінің артуымен және курстардың әртүрлілігінің артуымен студенттердің дәйектілікпен қажетті дағдыларды игеруін және курстар арасындағы оқу тәуелділіктерін сақтауын қамтамасыз ету өте маңызды болады.

Бұл мақалада білім беру бағдарламасының моделін құру үшін семантикалық технологиялар мен онтологиялық тәсілді қолдану қарастырылады. Онтологиялық модель - бұл курстар, дағдылар мен студенттерге қойылатын талаптар арасындағы дәйектілік пен тәуелділікті көрсететін график. Модельдің негізгі мақсаты оқу бағдарламасының сәйкестігін талдау болып табылады, мұнда сәйкестік студенттердің уақыт пен тәртіпте қажетті дағдыларды игеретінін білдіреді.

Онтологияны дамытудың бірнеше тәсілдері бар [1,2,3,4], онтологияны құруға арналған әдістемелерді, құралдар мен тілдерді талдау және салыстыру, сонымен қатар онтологияны білім мазмұнын схемалық түрде көрсету үшін қалай қолдануға болатындығын сипаттау. Онтология, кең мағынада, белгілі бір саладағы субъектілер мен олардың қатынастарын бейнелеуге мүмкіндік беретін білімді сипаттаудың ресми жүйесі. Білім беруде онтология оқу материалдары, құзыреттіліктер, олардың арасындағы байланыстар және бағдарлама құрылымы туралы білімді ресімдеуге негіз бола алады. Онтологиялық тәсіл білім беру бағдарламасының әртүрлі элементтерін сипаттауға және өзара байланыстыруға болатын бірыңғай ақпараттық кеңістік құруға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеудің мақсаты білім беру бағдарламасының құрылымын жобалауға онтологиялық көзқарасты зерттеу болып табылады. Біз оқытудың мақсаттарын, мазмұны мен дәйектілігін ескере отырып, білім беру бағдарламасы құрылымының онтологиялық моделін құруға мүмкіндік беретін әдістемені әзірлеуге тырысамыз. Бұл тәсіл бағдарламаның құрылымын түсінуді, оның икемділігін және білім беру талаптарының өзгеруіне бейімделуін жақсартуға мүмкіндік береді.

Оқу процесінде ақпараттың интеграциялануын және әртүрлі ресурстарды пайдалануды қамтамасыз ететін оқу онтологияларын құру болып табылады [5, 6]. Оқу процесі процедураларының онтологиялық сипаттамасы студенттердің жеке траекторияларын жоспарлау және бейімдеу алгоритмдерін құруға негіз болып табылады. Бұл алгоритмдер білім беру ортасындағы өзгерістерге, жұмыс берушілердің кәсіби талаптарына бейімделуге, сондай-ақ білім алушылардың мақсаттарын, білім деңгейлері мен танымдық стильдерін ескеруге мүмкіндік береді [7]. Онтология білім беру жүйелерінде бұрыннан қолданылған [8,9,10] және бұл қолдануды шартты түрде бірнеше санатқа бөлуге болады. Бірінші санатта онтология оқу пәнінің бағдарламасын модельдеу үшін қолданылады, оның ішінде бағдарламаны ұсыну, жоспар құру, оның орындалу перспективасын талдау, бағдарламаның орындалуын бағалау және бағдарламаның міндетті элементтерінің болуын анықтау. Сондай-ақ, осы санатта бағдарламаның осы элементтері оқу пәнінің міндеттері мен нәтижелерімен және жүйенің басқа элементтерімен байланысты. Екінші санатта онтология аралық бақылауды, есеп беру іс-шараларына дайындықты, есеп беру іс-шараларын өткізуді, бағалау жүргізуді және кері байланыс алуды қоса алғанда, оқу пәнінің бағдарламасын басқару үшін қолданылады. Үшінші санат оқу пәнінің бағдарламалық-әдістемелік қамтамасыз етілуінің сипаттамасымен байланысты және оқыту міндетінің онтологиясын құруды қамтиды. Соңында, төртінші санат оқушылардың жеке және топтық үлгерімін және алынған нәтижелерді талдау негізінде оқушылардың материалды меңгеруін бағалаумен байланысты.

Білім беруде онтологиялық тәсілді қолдану саласындағы қолданыстағы зерттеулерді екі санатқа бөлуге болады. Бірінші санат белгілі бір пәндік сала үшін онтологияны дамытудың жалпы әдістемесіне бағытталған зерттеулерді қамтиды [11,12]. Бұл жұмыстарда зерттеушілер онтологияның қалыптасу процесін зерттейді және оның әдістемесінің әртүрлі аспектілерін қарастырады.

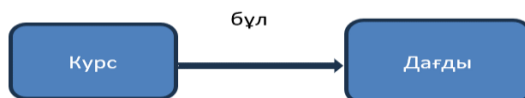
Зерттеудің екінші санаты білім беру жүйесін білімнің өсіп келе жатқан көлеміне бейімдеу құралы ретінде онтологиялық тәсілді қолдануды және оларды құрылымдау мен ресімдеу қажеттілігін білдіреді [13,14,15,16]. Бұл зерттеулер білімді тиімді ұйымдастыру және басқару, білім беру процесінің бейімделуі мен жекелендірілуін қамтамасыз ету үшін онтологияны қолдануға бағытталған.

Зерттеу барысында білім беру бағдарламаларын модельдеу үшін семантикалық технологияларды қолдануға арналған академиялық басылымдарға талдау жасалды. Талдау нәтижесінде қолданыстағы онтологиялық модельдерге тән кемшіліктер табылды. Олардың негізгілері – бұл модельдердің логикалық қорытынды құралдарын қолдануға дайын еместігі, сондай-ақ осы контексте логикалық тұжырымды іс жүзінде қолдануға арналған зерттеулердің болмауы.

Сонымен қатар, қолданыстағы модельдер негізінен білім беру бағдарламасының құрылымын ғана көрсететін рөлдердің (қатынастардың) шектеулі жиынтығына бағытталған. Олар уақыт өте келе ұғымдар мен оқу процесінің мазмұны арасындағы байланысты сипаттай алмайды.

Әдістер және әдіснамалар

Триплет-семантикалық ақпаратты беру үшін қолданылатын арнайы құрылым және ол үш негізгі элементтен тұрады: субъект, предикат және объект (1-суретті қараңыз). Мұндай үштікті екі ұғымның арасындағы байланысты сипаттауға болады, мұнда мағынасы предикатпен анықталады, мысалы, «Курс-бұл-дағды». Сонымен қатар, субъект қасиеті предикат ретінде әрекет ете алады және бұл қасиеттің мәні объект ретінде әрекет ете алады, мысалы, «Курс-has-Name-OOP». Мұндай құрылымдағы объект нысан да, литерал да (сан немесе жол мәні) болуы мүмкін.



Сурет 1. Триплет - семантикалық ақпаратты ұсынудың негізгі бірлігі

Онтологиялық тәсіл семантикалық модельдерді құруда маңызды рөл атқарады, мұнда негізгі принциптердің бірі объектілерді атаудың бірегейлігі болып табылады. Семантикалық веб тұжырымдамасының бөлігі ретінде мұндай атаулар әдетте URI (Uniform Resource Identifier) түрінде ұсынылады. Семантикалық желі жобасы немесе semantic web-онтологиялық тәсілді қолданудың ең танымал мысалдарының бірі. Бұл жоба ақпаратқа метадеректерді қосуға мүмкіндік беретін веб-ортаны дамытуға бағытталған, бұл өз кезегінде құжаттардағы мағынаны сақтау мен өңдеуді жеңілдетеді.

Сонымен қатар, онтологиялық тәсіл деректерді алу үшін арнайы құралдарды қолдануға мүмкіндік береді және «семантикалық іздеуге» мүмкіндік береді, яғни ақпаратты тек контекстке ғана емес, мағынаға да іздейді, сонымен қатар логикалық тұжырымды қолданады.

Семантикалық веб технологиялары тек ақпараттық ресурстар мен семантикалық желі саласында ғана емес, сонымен қатар жүйелік интеграция, ақпараттық ресурстарды сипаттау және каталогтау және ақылды бағдарламалық жасақтама агенттерін құру сияқты басқа салаларда да қолданылады.

Онтологиялық тәсіл білім беру бағдарламаларын қоса алғанда, аз ресімделген пәндік салалар үшін ақпараттық модельдерді құруда бірқатар артықшылықтарға ие:

Ол деректер моделінің «ашықтығын» қамтамасыз етеді, бұл жүйенің өмірлік циклі бойына жаңа тұжырымдамалар мен қатынастарды қосу арқылы оны оңай кеңейтуге мүмкіндік береді.

Бұл күрделі қатынастарды модельдеуге ықпал етеді және деректерді талдау үшін логикалық тұжырымды қолдануға мүмкіндік береді.

Ол нақты анықталған семантикамен үйлесімді терминологияны қолдануды қамтамасыз етеді.

Семантикалық модельдің маңызды бөлігі объект атауларының бірегейлік принципі болып табылады. Семантикалық веб концепциясында бұл атаулардың URI (Uniform Resource Identifier) пішіні болуы әдеттегідей.

Онтологиялық тәсілдің ең танымал қолданбасы - семантикалық веб жобасы - семантикалық веб. Бұл құжаттардың семантикасын сақтауға және өңдеуге мүмкіндік беретін ақпаратқа метадеректерді енгізуге арналған веб-ортаны әзірлеу тұжырымдамасы. Сонымен қатар, деректерді алу үшін арнайы құралдарды пайдалану контекстік емес, «семантикалық іздеуге», яғни сұраққа жауап іздеуге және логикалық қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Семантикалық веб-технологияларды жүйені біріктіру, сипаттау, ақпараттық ресурстарды каталогтау және интеллектуалды бағдарламалық агенттерді құру үшін басқа салаларда да қолдануға болады.

Онтологиялық тәсіл білім беру бағдарламасының мазмұнын қамтитын нашар ресімделген пәндік салалардың ақпараттық үлгілерін жүзеге асыруда бірнеше артықшылықтарға ие:

- Жүйенің өмірлік циклі бойына жаңа ұғымдар мен қатынастарды қосу арқылы оның кеңеюін қамтамасыз ететін деректер үлгісінің «ашықтығы»;
- Күрделі қатынастарды модельдеу және логикалық қорытындыны қолдану мүмкіндігі;
- Келісілген (барлығы ортақ) терминологияны нақты анықталған семантикамен қолдану.

Зерттеу сұрақтары

Кіріспеде көрсетілген шолу және әдебиеттерді шолу нәтижелері келесі зерттеу сұрақтарын тұжырымдауға мүмкіндік береді:

Сұрақ 1. Курстарды, дағдыларды және оқу кезеңдерін біріктіретін білім беру бағдарламасының егжей-тегжейлі онтологиялық моделін құру объектіге бағытталған тәсіл арқылы мүмкін бе?

Сұрақ 2. Тиісті бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, білім беру бағдарламасы мен оның онтологиялық моделінің курстық пререквизиттері мен оқу нәтижелерінің сәйкестігін талдауды автоматтандыруға бола ма?

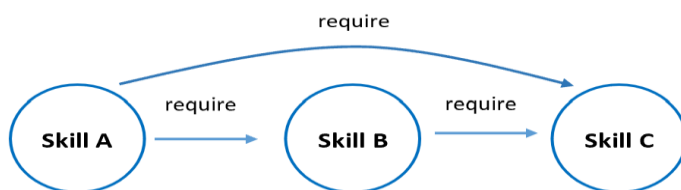
Сұрақ 3. Білім беру бағдарламасының дамыған онтологиялық моделі Learning Management Systems бағдарламалық жасақтамасымен оңай біріктірілуі мүмкін бе?

Білім беру бағдарламасының онтологиялық моделін құру

Онтологиялық модельді құру кезінде бірнеше талаптарды орындау қажет. Біріншіден, модель ішінде біркелкілік пен стандарттауды қамтамасыз ететін қатаң анықталған үлгілерде ресімделуі керек. Екіншіден, модельдің анықтығы мен түсінікті болуын қамтамасыз ету үшін негізгі терминдердің шектеулі санын қолдану керек. Үшіншіден, модель оның дұрыстығына және әртүрлі контексттерде пайдалану мүмкіндігіне кепілдік беру үшін ішкі толық және логикалық дәйекті болуы керек. Бұл модельді басқа гуманитарлық пәндерде де логиканы сақтай отырып қабылдауға және қайталауға мүмкіндік береді. Осы талаптарды орындау сенімді және әмбебап онтологиялық модельді құруға ықпал етеді [17, 18,19].

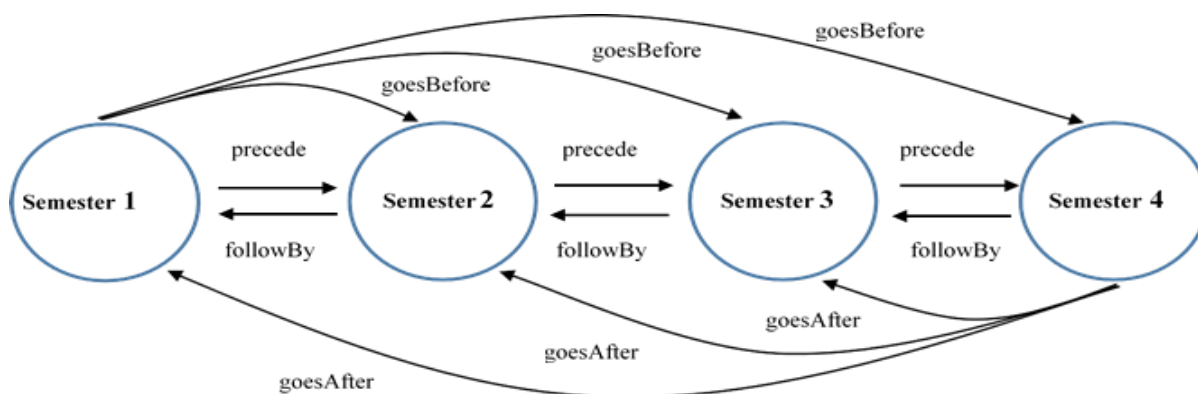
Білім беру бағдарламасы білім алушылардың белгілі бір дағдыларын дамытуға бағытталған өзара байланысты оқу курстарының жиынтығынан тұрады. Белгілі бір дағдыларды игеру үшін әдетте басқа алдын-ала дағдылар қажет. Мысалы, «Программалық инженерия» бағыты бойынша бакалавриат бағдарламасы аясында объектіге бағытталған бағдарламалау дағдыларын игеру үшін негізгі бағдарламалау, процедуралық бағдарланған бағдарламалау және алгоритмдеу дағдылары қажет[20].

Мұны дағдылардың тәуелділік графигі ретінде ұсынуға болады, мұнда дағдылар арасындағы байланыстар талаптар ретінде белгіленеді. Дағдылар арасындағы мұндай тәуелділіктер өтпелі құрылымды құрайды, яғни егер А шеберлігі В шеберлігіне, ал В шеберлігі С шеберлігіне тәуелді болса, онда А шеберлігі С шеберлігіне де байланысты болады (2-суретті қараңыз).



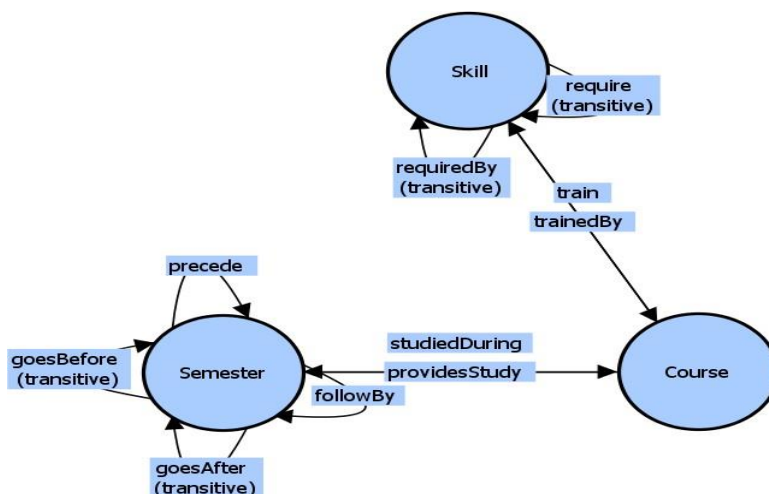
Сурет 2. Дағдылардың өтпелілігі

Білім беру бағдарламасындағы курстар оқу кезеңдері-семестрлерге сәйкес топтарға ұйымдастырылған. Семестрлер бір-бірінен сызықтық ретпен жүреді және әр семестр үшін «алдыңғы» және «кейінгі» байланыстар анықталады. Жалпы деңгейде бұл байланыстар «бұрын» және «кейін» деп сипатталады. Бұл байланыстар да өтпелі және уақыт бойынша қатынастарды көрсетеді (3-суретті қараңыз).



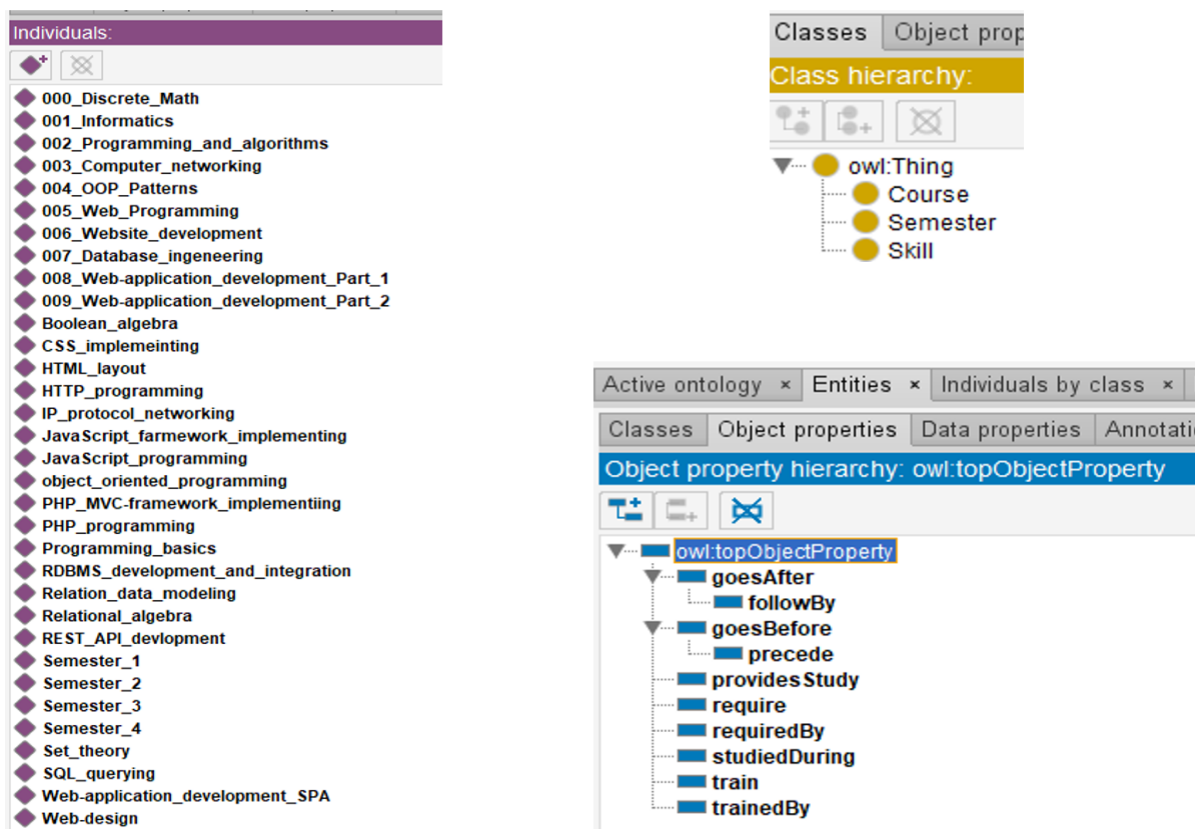
Сурет 3. Оқу кезеңдері (семестрлер) арасындағы уақыт қатынастары

«Курс» (course) тұжырымдамасы семестрдің функционалды (functional) қасиетімен байланысты «Семестр бойы оқытылады» (studiedDuring) және оның инверсиялық қасиеті «Оқуды қамтамасыз етеді» (providesStudy). Сонымен қатар, әр курс білім алушыда қандай да бір дағдыларды үйретеді (train). Protégéowl плагині арқылы алынған класстар мен қасиеттер диаграммасы 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Курс, семестр және дағды арасындағы байланысты сипаттайтын семантикалық желі графигі

Білім беру бағдарламасының әзірленген онтологиялық моделі Protégé 5.5.0 онтологиялық редакторында жүзеге асырылды. Мысал ретінде модель «Программалық инженерия» бағыты бойынша бакалавриат бағдарламасының фрагментін сипаттайтын деректермен толтырылды. Құрылған класстар, сипаттар (Object Properties) және класс даналары (Individuals) 5 - суретте көрсетілген.



Сурет 5. Білім беру бағдарламасының онтологиялық моделінің класстары, қасиеттері және даналары

Онтологиялық модельді құрудың негізгі мақсаты-логикалық қорытынды механизмі арқылы білім алу. Бұл механизм білім беру бағдарламасын дағдыларға қойылатын талаптардың (prerequisites) сәйкестігі және оқушының алдыңғы курстарды оқып-үйрену кезінде алатын дағдылары тұрғысынан талдауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде әр курстың талаптары студенттердің дайындық деңгейіне сәйкес келетіндігін анықтауға болады, сонымен қатар әр түрлі курстар арасындағы тәуелділікті анықтауға болады.

Білім беру бағдарламасының сәйкестігін тексеру үшін барлық қажетті дағдылардың алдыңғы семестрлерде білім алушыда қалыптасуын қамтамасыз ету қажет. Белгілі бір семестрдің алдындағы семестрлерде қалыптасқан барлық дағдылардың тізімін алу үшін (мысалы, төртінші) DLQuery тіліндегі сұранысты қолдануға болады [20].

trainedBy some (studiedDuring some (goesBefore value Semester_4))

Білім беру бағдарламасының сәйкестігін бағалау үшін студенттердің алдыңғы семестрлерде алған дағдыларын ағымдағы семестрде курстарды үйренуге қажетті дағдылар жиынтығымен салыстыру қажет. Егер қажетті дағдылар жиынтығы білім алушы алған көптеген дағдыларда толық қамтылмаса, онда білім беру бағдарламасы келісілмеген. Бірінші жиында бар, бірақ екіншісінде жоқ көптеген дағдыларды алу үшін SPARQL тіліндегі сұрауды пайдалануға болады 6 - сурет.

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>PREFIX owl:  
<http://www.w3.org/2002/07/owl#>  
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>PREFIX xsd:  
<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>  
PREFIX curriculum: <http://www.enu.kz/ontologies/curriculum#>SELECT ?rs  
WHERE {?c curriculum:studiedDuring curriculum:Semester_4.?s  
curriculum:trainedBy ?c.  
?rs curriculum:requiredBy ?s.  
FILTER (NOT EXISTS {?rs curriculum:trainedBy ?cp. ?cp  
curriculum:studiedDuring ?sp.  
?sp curriculum:goesBefore curriculum:Semester_4})}
```

Сурет 6. Дағдыларды алу үшін SPARQL тіліндегі сұрау

Білім беру бағдарламасының сәйкестігін тексерудің бұл әдістемесі мен технологиясы әмбебап болып табылады және кез-келген оқу кезеңдеріне және дағдыларға тәуелділіктің кез-келген ерікті құрылымына қолданылады.

Талқылау

Зерттеуіміздің бөлігі ретінде біз келесі негізгі қадамдарды орындап, келесі негізгі нәтижелерге қол жеткіздік:

- білім беру бағдарламаларын модельдеу үшін семантикалық технологияларды қолдануға арналған ғылыми жарияланымдарды талдадық. Талдау ұсынылған онтологиялық модельдердің жалпы кемшіліктерін анықтады. Негізгі кемшіліктер бұл модельдердің қорытынды жасау құралдарын пайдалануға бейімділігінің төмендігі, сондай-ақ мұндай қорытындыны іс жүзінде қолдану бойынша зерттеулердің болмауы болды. Сонымен қатар, қолданыстағы модельдер негізінен тек білім беру бағдарламасының құрылымын көрсететін рөлдердің (қарым-қатынастардың) шектеулі жиынтығын пайдалана отырып құрастырылады. Олар уақыт бойынша ұғымдар мен білім беру мазмұны арасындағы байланысты сипаттамайды.

- білім беру бағдарламасының онтологиялық моделі әзірленді, онда оқытылатын курстар қалыптасатын дағдылар мен білім алушының біліктілігіне кіру талаптары (преквизиттері). Модель оқу кезеңдерінің уақыт бойынша байланысын қарастырады, бұл оқу курстарының реттілігімен жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

SPARQL сұраулары білім беру бағдарламасының курстардың кіру талаптарына және студенттің алдыңғы оқу кезеңінде қалыптасқан дағдыларына сәйкестігін талдауға мүмкіндік беретін әзірленді. Сұраулардың нәтижелері белгілі бір оқу кезеңінің кіріс талаптарына сәйкес келетін, бірақ алдыңғы оқу кезеңдерінде дамымаған дағдылардың ішкі жиыны болып табылады.

Жүргізілген зерттеу қойылған зерттеу сұрақтарына жауап беруге мүмкіндік берді.

1-сұрақ: объектіге бағытталған тәсілді қолдана отырып, курстарды, дағдыларды және оқу кезеңдерін біріктіретін білім беру бағдарламасының егжей-тегжейлі онтологиялық моделін құруға бола ма?

Иә, біз оған жеттік. Дегенмен, нақты жағдайлар үшін (мысалы, курстар, дағдылар және оқу кезеңдері көп төрт жылдық білім беру бағдарламасы) әзірленген модельдерді пайдалану өте қиын болуы мүмкін екенін ескеру маңызды.

2-сұрақ: тиісті бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, курстың алғышарттары мен білім беру бағдарламасы мен оның онтологиялық моделінің оқу нәтижелері арасындағы сәйкестікті талдауды автоматтандыруға бола ма?

Иә, біз модельді құру үшін ғана емес, сонымен қатар оны қарапайым және автоматты түрде талдау үшін арнайы бағдарламалық жасақтаманы қолдандық. Біз логикалық пайымдау үшін арнайы сұрау тілін қолдандық: SPARQL.

3-сұрақ: білім беру бағдарламасының онтологиялық моделін оқытуды басқару жүйесінің (LMS) бағдарламалық жасақтамасымен оңай біріктіруге бола ма?

Жоқ, бұл мүмкін емес. LMS әдетте деректер деңгейіндегі реляциялық дерекқорды басқару жүйелеріне сүйенеді. SPARQL сұрауларын құрылымдық сұрау тіліне (SQL) негізделген бұл технологияда оңай енгізу мүмкін емес. Екі технологияны біріктіру немесе біріктіру ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарда бөлек күш-жігерді қажет етеді.

Қорытынды

Бұл мақалада білім беру бағдарламасының моделін жасау үшін онтологиялық тәсіл қолданылды. Бұл модель оқу бағдарламасының құрылымын әр курс үшін студенттің алған дағдылары, сондай-ақ берілген курсты үйренудің алғышарттары ретінде талап етілетін дағдылары анықталған курстар тізбегі ретінде ұсынады. Оқу кезеңдерін білдіретін уақыт аралықтарының реттілігі мен кірістірілуіне байланысты ұғымдарды семантикалық модельдеуге ерекше назар аударылды.

Бұл модельдің негізгі мақсаты оқу бағдарламасының сәйкестігін талдау болып табылады. Егер кез келген семестрде курстарды оқуды бастау үшін барлық қажетті дағдылар алдыңғы семестрлерде курстарды оқу процесінде қалыптасса, оқу бағдарламасы келісілген болып саналады. Авторлар бұл мәселенің шешімін логикалық машинасын (reasoner) пайдалану және SPARQL тілінде сұраныстарды орындау арқылы көрсетті. Бұл әдіс белгілі бір білім беру бағдарламасының сәйкестігін талдауды ғана емес, сонымен қатар бағдарламаларды өзара салыстыру мүмкіндігін ұсынады.

Оқу бағдарламасының үйлесімділігін талдау үшін семантикалық технологияларды қолданудың тиімділігі онтологиялық модельдің графикалық сипатына байланысты. Онтологиялық модель сипаттамалық логиканың математикалық аппаратының арқасында күрделі байланыс құрылымдарын ұсынуға және пәндік сала туралы толық ақпарат болмаса да нәтиже алуға мүмкіндік береді. Онтологиялық тәсілдің артықшылықтары, егер доменнің семантикалық моделінде күрделі байланыс топологиясы және көптеген ұғымдар болса, айқын көрінеді.

Авторлар ұсынған онтологиялық модельді тақырыптық аймақты неғұрлым толық және барабар көрсету және кеңейту үшін қысқартуға болады. Модельді нақтылаудың бір жолы оқу бағдарламасының үйлесімділігі үшін жаңа шарттарды енгізу болуы мүмкін. Сәйкестіктің қосымша шарттары оқу курсының көлемі, оның оқу бағдарламасы тұрғысынан жіктелуі, курста қарастырылған оқу сабақтарының түрлері және басқалар болуы мүмкін. Сондай-ақ, модельде дағдыларды теориялық білім мен практикалық дағдыларға бөлуді жүзеге асыруға болады.

АЛҒЫС

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің жобаларды гранттық қаржыландыру қолдауымен орындалды (AP19577922 Қазақ тілінде интеллектуалды сұрақ-жауап жүйесін құру технологиясы).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Poli R. *Ontological methodology* // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2002. Vol. 56. P.639-64.
- 2 Guarino N. *Understanding, building and using ontology* // *International Journal of Human-Computer Studies*. 1997. Vol. 46. P.293-310.
- 3 Noy N.F., McGuinness D.L. *Ontology development 101: a guide to creating your first ontology* // *Prote'ge'*-2000. 2001. P.1-25.
- 4 Corcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A. *Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?* // *Data & Knowledge Engineering*. 2003. Vol. 46. P.41-64.
- 5 Sein-Echaluce M.L., Fidalgo-Blanco Á., Esteban-Escañó J. *Technological ecosystems and ontologies for an educational model based on Web 3.0* // *Universal Access in the Information Society*. 2019. Vol. 18. No. 3. Pp. 645-658.
- 6 Michie S., West R., Hastings J. *Creating ontological definitions for use in science* // *Qeios*. 2019. Pp.1-10.
- 7 Anderson J.Q. *Individualisation of higher education: How technological evolution can revolutionize opportunities for teaching and learning* // *International social science journal*. 2013. Vol. 64. No. 214. Pp. 305-316.
- 8 Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М. *Онтологический подход к проектированию научно-производственных систем. Онтология проектирования*. 2022. Т.12, № 1(43). С.57-67. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-57-67.
- 9 Куликов Г.Г., Антонов В.В., Шилина М.А., Фахруллина А.Р. *Адаптивная модель совершенствования учебного процесса с использованием информационных технологий* // *Технологии цифровой обработки и хранения информации: матер. межд. конф. Уфа: УГАТУ, 2015. Т.1. С.194-198.*
- 10 Гаспарян М.С., Лебедев С.А., Тельнов Ю.Ф. *Проблемы взаимосвязи профессиональных и образовательных стандартов* // 15-ая научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в управлении и образовании», 21 апреля 2016 // *Сборник научных трудов. Часть 3. Секция 3. Современные технологии подготовки специалистов. М.: ФГБУ НИИ "Восход"*.
- 11 Stancin K, Poscic P, Jaksic D. *Ontologies in education – state of the art* // *Education and Information Technologies* 2020; 25: P.5301–5320.
- 12 Mariela T.L., Rivera A., Chicaiza J., Luján-Mora S. *Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study* // *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. 2018; P.1344-1353.

13 Долятовский В., Гамалей Я. Онтологический подход к процессам и системам обучения и образования // *Образовательные технологии*. 2018. №3. С.76-106.

14 Смирнова Е.В., Добрица Е.К., Демиденко Н.О. Использование онтологий в образовательных процессах // *Проблемы Науки*. 2017. №22 (104). С.70-74.

15 Omarbekova A., Nazyrova A., Tasbolatuly N., Bekmanova G. *Ontological model of an intelligent e-learning system and learning outcomes: ontological model of an intelligent e-learning system and learning outcomes.* // *Известия НАН РК. Серия физико-математическая*, 2023(2), 108–127. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.188>

16 Назырова А.Е., Бекманова Г.Т., Муканова А., Амангелді Н., & Қалдарова М. Білім беру бағдарламалары үшін автоматтандырылған жүйені әзірлеу. // *Известия НАН РК. Серия физико-математическая*, 2023(2), 221–236. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.195>

17 Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Данилов А.В. Программная реализация информационно-образовательного пространства на основе многоагентной технологии и онтологического подхода // *Открытое образование*. 2015. № 6. С.73–82.

18 Gavrilova T., Kokoulina L. *Using Ontology Engineering to Design Artificial Intelligence Course* // *In Smart Education and e-Learning SEEL, Smart Innovation, Systems and Technologies series 144*, in: Uskov V.L. et al., (eds.), Springer, 2019. P.201-207.

19 Bekmanova G., Nazyrova A., Omarbekova, A., Sharipbay A. *The Model of Curriculum Constructor//Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2021, 12950 LNCS, страницы 459–470 <https://doi.org/10.1145/3492547.3492680>

20 Nazyrova, Aizhan, Marek Milosz, Gulmira Bekmanova, Assel Omarbekova, Assel Mukanova, and Gaukhar Aimicheva. 2023. “Analysis of the Consistency of Prerequisites and Learning Outcomes of Educational Programme Courses by Using the Ontological Approach” *Applied Sciences* 13, no. 4: 2661. <https://doi.org/10.3390/app13042661>

References:

1 Poly R. (2002) *Ontological methodology* // *International Journal of Human-Computer Research*. Volume 56. pp.639-64. (In English)

2 Guarino N. (1997) *Understanding, construction and use of ontology* // *International Journal of Human-Computer Research*. Volume 46. pp.293-310. (In English)

3 Noah N.F., McGuinness D.L. (2001) *Development of ontology 101: a guide to creating your first ontology* // *Protege-2000*. pp.1-25. (In English)

4 Korcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A. (2003) *Methodologies, tools and languages for constructing ontologies. Where is their meeting place?* // *Data and Knowledge Engineering*. Volume 46. pp.41-64. (In English)

5 Sein-Echaluche M.L., Fidalgo-Blanco A., Esteban-Escagno H. (2019) *Technological ecosystems and ontologies for an educational model based on Web 3.0* // *Universal access in the information society*. Volume 18. No. 3. pp. 645-658. (In English)

6 Michie S., West R., Hastings J. (2019) *Creation of ontological definitions for use in science* // *Qeios*. Pages 1-10. (In English)

7 Anderson J.K. (2013) *Individualization of higher education: how technological evolution can revolutionize teaching and learning opportunities* // *International Journal of Social Sciences*. Vol. 64. No. 214. pp. 305-316. (In English)

8 Akhmedyanova G.F., Pishchukhin A.M. (2022) *Ontologicheskij podhod k proektirovaniyu nauchno-proizvodstvennyh sistem [Ontologija proektirovaniya Ontological approach to the design of scientific and production systems. Ontology of Design]*. Vol.12, No. 1(43). pp.57-67. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-57-67. (In Russian)

9 Kulikov G.G., Antonov V.V., Shilina M.A., Fakhruullina A.R. (2015) *Adaptivnaja model' sovershenstvovanija uchebnogo processa s ispol'zovaniem informacionnyh tehnologij [Adaptive model of improving the educational process using information technologies]. Tehnologii cifrovoj obrabotki i hranenija informacii: mater. mezhd. konf. Ufa: UGATU, Vol.1. 194-198. (In Russian)*

10 Gasparian M.S., Lebedev S.A., Telnov Yu.F. (2016) *Problemy vzaimosvjazi professional'nyh i obrazovatel'nyh standartov [Problems of interrelation of professional and educational standards].15-aja nauchno-prakticheskaja konferencija «Sovremennye informacionnye tehnologii v upravlenii i obrazovanii», Sbornik nauchnyh trudov. Chast' 3. Sekcija 3. Sovremennye tehnologii podgotovki specialistov. M.: FGBU NII “Voshod” (In Russian)*

11 Stantsin K., Poskich P., Yakshich D. (2020) *Ontologies in education – the current state* // *Education and information technologies* 25: pp.5301–5320. (In English)

12 Mariela T.L., Rivera A., Chikaiza J., Luhan-Mora S. (2018) *Application of ontologies in higher education: a systematic cartographic study* // *IEEE Global Conference on Engineering Education (EDUCON)*. 2018; pp.1344-1353. (In English)

13 Dolyatovsky V., Gamaley Ya. (2018) *Ontologicheskij podhod k processam i sistemam obuchenija i obrazovanija [Ontological approach to the processes and systems of training and education]. Educational technologies. No.3. pp.76-106. (In Russian)*

- 14 Smirnova E.V., Dobriga E.K., Demidenko N.O. (2017) *Ispol'zovanie ontologij v obrazovatel'nyh processah [The use of ontology in the educational process]. Problems of Science. №22 (104). С.70-74 . (In Russian)*
- 15 Omarbekova A., Nazyrova A. E., Tasbolatuly N., Bekmanova G. (2023) *Ontological model of an intelligent e-learning system and learning outcomes: ontological model of an intelligent e-learning system and learning outcomes. // Izvestia NAN RK. Series physico-mathematical, 108–127. (In English) <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.188>*
- 16 Nazyrova A. E., Bekmanova G. T., Mukanova A., Amangeldy N., Kaldarova M. (2023) *Bilim беру bagdarlamalary yshin avtomattandyrylgan zhyjeni azirleu [Development of an automated system for educational programs]. Izvestia NAN RK. Series physico-mathematical, 221-236. (In Kazakh) <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.195>*
- 17 Telnov Yu.F., Kazakov V.A., Danilov A.V. (2015) *Programmnaia realizacija informacionno-obrazovatel'nogo prostranstva na osnove mnogoagentnoj tehnologii i ontologicheskogo podhoda [Program implementation of information and educational space based on multi-agent technology and ontological approach]. Open education. No. 6. pp.73–82. (In Russian)*
- 18 Gavrilova T., Kokoulina L. (2019) *Using ontological engineering to develop a course on artificial intelligence // In the journal Smart Education and e-Learning SEEL, series 144 “Smart Innovations, systems and Technologies”, in: Uskov V.L. et al., (ed.), Springer, pp.201-207. (In English)*
- 19 Bekmanova G., Nazyrova A., Omarbekova, A., Sharipbay A. (2021) *The Model of Curriculum Constructor//Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 12950 LNCS, страницы 459–470. (In English) <https://doi.org/10.1145/3492547.3492680>*
- 20 Nazyrova, Aizhan, Marek Milosz, Gulmira Bekmanova, Assel Omarbekova, Assel Mukanova, and Gaukhar Aimicheva. (2023) *“Analysis of the Consistency of Prerequisites and Learning Outcomes of Educational Programme Courses by Using the Ontological Approach” // Applied Sciences 13, no. 4: 2661. (In English) <https://doi.org/10.3390/app13042661>*

Н.З. Сакипов^{1*}, А.Г. Вихнин², А.К. Сейдилдаева¹, Р.А. Беркутбаева¹, Р.У. Сегизбаева¹

¹Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан

²T-match LLP, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: n.sakipov@agakaz.kz

СЕТЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕКСТОВ БАЗ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

Целью данной статьи является теоретическое рассмотрение вопросов цифровой симуляции поведения эксперта в заданной предметной области, существенно использующей обработку текстов, относящихся к этой предметной области. В качестве основной исследовательской задачи, авторами рассматриваются вопросы преобразования текстов к виду, облегчающему проведение с ними формальных выкладок и манипуляций при создании автоматической экспертной системы (ЭС), функционирующей как цифровой симулятор поведения эксперта. В статье впервые определяется содержание понятий текстовых Баз знаний для ЭС и структурно-типологической модели текста. В статье выяснены особенности использования для решения прикладных задач графовых и сетевых форматов представления текстовых данных, экстрагированных из первичных текстов. Предлагается использовать тематические текстовые коллекции для автоматизированного создания Баз знаний ЭС. Для ЭС предлагается использовать математический аппарат сетей Петри для аналитической работы с графическим представлением текстов.

Ключевые слова: эксперт, экспертная система, текст, ИИ, Базы знаний, сеть Петри.

Аңдатпа

Н.З. Сакипов¹, А.Г. Вихнин², А.К. Сейдилдаева¹, Р.А. Беркутбаева¹, Р.У. Сегизбаева¹

¹Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ, Қазақстан

²T-match LLP, Алматы қ, Қазақстан

ЭКСПЕРТТІЛ ЖҮЙЕЛЕРДЕ БІЛІМ БАЗАСЫ МӘТІНДЕРІН ЖЕЛІЛІК ТҮРДЕ БЕРУ

Бұл мақаланың мақсаты – осы пәндік салаға қатысты мәтіндерді өңдеуді айтарлықтай қолданылатын берілген пәндік саладағы сарапшының іс-әрекетін цифрлық модельдеу мәселелерін теориялық тұрғыдан қарастыру. Негізгі зерттеу міндеті ретінде авторлар сарапшы мінез-құлқының сандық симуляторы қызметін атқаратын автоматты сараптау жүйесін (СЖ) құру кезінде олармен ресми есептеулер мен манипуляцияларды жеңілдететін пішінге мәтіндерді түрлендіру мәселелерін қарастырады. Мақалада алғаш рет СЖ үшін мәтіндік білім базасы ұғымдарының мазмұны және мәтіннің құрылымдық-типологиялық моделі анықталған. Мақалада қолданбалы есептерді шешу үшін негізгі мәтіндерден алынған мәтіндік деректерді көрсету үшін графикалық және желілік пішімдерді пайдалану ерекшеліктері түсіндіріледі. СЖ білім қорын автоматты түрде құру үшін тақырыптық мәтіндік жинақтарды пайдалану ұсынылады. СЖ үшін мәтіндердің графикалық көрінісімен аналитикалық жұмыс үшін Петри торларының математикалық аппаратын пайдалану ұсынылады.

Түйін сөздер: сараптау, сараптау жүйесі, мәтін, ЖИ, білім қоры, Петри желісі.

Abstract

NETWORK REPRESENTATION OF TEXTS OF KNOWLEDGE BASES IN EXPERT SYSTEMS

Sakipov N.Z.¹, Vikhnin A.G.², Seidildaeva A.K.¹, Berkutbaeva R.A.¹, Segizbaeva R.U.¹

¹Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

²T-match LLP, Almaty, Kazakhstan

The purpose of this article is a theoretical consideration of the issues of digital simulation of the expert behavior in a given subject area, which essentially uses the processing of texts related to this subject area. As the main research task, the authors consider the issues of converting texts to a form that facilitates formal calculations and manipulations with them when creating an automatic expert system (ES) that functions as a digital simulator of the expert behavior. The article defines for the first time the content of the concepts of text Knowledge Bases for ES and the structural-typological model of the text. The article clarifies the features of using graph and network formats for representing text data extracted from primary texts for solving applied problems. It is proposed to use thematic text collections for the automated creation of ES Knowledge Bases. For ES, it is proposed to use the mathematical apparatus of Petri nets for analytical work with a graphical representation of texts.

Keywords: expert, expert system, text, AI, Knowledge bases, Petri net.

Введение

История разработки и коммерческого использования ЭС насчитывает около 50 лет. Основная задача ЭС – автоматизация работы эксперта в разнообразных производственных ситуациях. Это находится в согласии с актуальными индустриальными трендами по сокращению трудозатрат, путем передачи функций управления, анализа и контроля от человека к автоматическим цифровым устройствам.

Интеллектуализация указанных функций до уровня, сопоставимого с рассудочной деятельностью специалиста, в настоящее время также представляют собой устойчивую тенденцию в сфере информационных технологий [1]. Содержательно она относится к проблематике Искусственного Интеллекта (ИИ), поскольку и по понятийному аппарату, и по прикладным целям, ИИ и ЭС имеют много общих мест [2]. Движок (Engine) симуляции рассудочной деятельности человека – это цифровой объект, представляющий собой оболочку, подлежащую заполнению определенными данными. Эти данные должны формировать память, базу знаний, задавать целеполагание («жизненные цели»), список потенциальных действий (ресурс управления) и компоненты для выстраивания функциональной системы по П. Анохину [3]. Заполненную данными оболочку, симулирующую реальное поведение специалиста, участвующего в цепочках управления и принятия решений для разнообразных производственных ситуаций, мы будем называть Симулятором рассудочной деятельности человека. По умолчанию, также Симулятор должен поддерживать выработку экспертных заключений по проблемной ситуации на уровне специалиста-эксперта. Функционал Симулятора во многом пересекается с функциями ЭС, где в качестве Базы знаний используются тематические текстовые коллекции.

Материалы и методы

Симулятор рассудочной деятельности представляет собой управляющую систему, субъект, в терминах теории автоматического управления, характеризующийся своим внутренним состоянием и заложенными возможностями для потенциальных действий. Последнее называют ресурсом управления.

Создание цифрового симулятора эксперта, требует разработки простой и интуитивно понятной модели его информационного поведения в виде некоторой описания и хранящегося в автономной памяти определенного объема знаний. В дальнейшем, после обучения и обретения необходимой функциональности, эту конструкцию можно будет считать Симулятором эксперта. Эксперт, будучи наделен знаниями в своей предметной области, способен отвечать на вопросы собеседника в диалоговом режиме. Соответственно Симулятор тоже должен поддерживать диалоговый режим на естественном языке.

Ключевыми свойствами Симулятора является возможность предпринимать определенные действия. Они могут вызвать изменения в среде либо в других компонентах, включенных в модель. Типовые действия компонент могут вести (быть причиной) к следующим следствиям:

- изменение глобального состояния среды
- локальное изменение среды;
- реакция на отдельные воздействия;
- выполнение вычислительных процессов внутри компонент для обработки получаемой информации.

Стандартные базовые свойства Симулятора в Символьном ИИ характеризуются следующими «интеллектуальными» возможностями:

- Событийной памятью – способностью запоминать ранее произошедшие события.
- Наличие целеполагания («жизненной цели») и возможности ей следовать.
- Обучаемость движка, т.е. возможность эволюции его поведения связанной с введенными данными.
- Возможностью реализации сложных вычислений.
- Интеллектуальности – способность к адаптации поведения в изменяющейся внешней среде, накопление и отчуждение знаний, способность предвидения (прогноза), понимание текста, способность к диалогу (поддержка вопросно-ответных систем и др.
- Узнавание и идентификация объектов предметной области.

Знания и способность к речевой коммуникации – это постулируемые базовые свойства Симулятора. Поэтому, в наших построениях на передний план выходит естественно-язычный текст, тесно связанный с этими понятиями.

В первых типовых ЭС [4] экспертный вывод выполнялся путем операций над логическими данными из предварительно построенной базы фактов и правил. Реализованный программно метод дедуктивного логического вывода (ЕСЛИ...ТО) из набора фактов и правил, называемых Базой знаний, являлся результатом работы блока логического вывода ЭС. Появление подобных ЭС стало прорывом [5], [6], породившим огромные ожидания, которые далеко не полностью оправдались. Основным недостатком выводов, получаемых с помощью формальной логики, состоит в сильно ограниченном списке задач, для которых формальная логика является основным инструментом работы со знаниями. Надо было найти другие подходы.

При построении экспертных систем ключевым концептом выступает понятие экспертного знания [7]. Под ним понимают отражение действительности в сознании эксперта. Функция Экспертной Системы состоит в автоматизированном решении прикладных задач, которые раньше решались лишь экспертами при непосредственном восприятии проблемной ситуации. Экспертное знание часто может быть объективизировано, т.е. представлено в виде некоторого текста.

Текст представляет собой словарное единство, характеризующееся в обиходе содержательно-смысловой структурой и линейной формой [8]. Текст обладает особыми структурными свойствами, известными под термином «система» (основное понятие системного анализа). Системой называют совокупность взаимосвязанных элементов, образующих новый объект со свойствами, которыми не обладает по отдельности ни один компонент системы [9], [10]. В тексте предложение (frase) – состоит из взаимосвязанных словоформ и обладает свойствами, которыми не обладает по отдельности ни одна отдельно взятая словоформа.

Помимо линейного представления, являющимся каноническим, текст допускает также сетевое (графическое) представление, делающее возможным визуализацию содержания его смысла. Наиболее распространенные примеры графических форматов представления смысла текста – диаграммы, чертежи, эскизы, слайды презентаций, ментальные карты и подобное, создаваемые на основе исходных текстов [11], [12]. Данную трансформацию с сохранением смысла, можно считать переводом текста с вербальной в иную знаковую форму. Преобразования линейного текста в другие форматы, с сохранением смысла, обусловлены практической необходимостью. Например, когда исходный текст преобразуется в математический объект типа графа, что позволяет проводить с ним дальнейшие выкладки в аналитической форме.

Мы предлагаем использовать двудольный граф для сетевого представления речевых сообщений, а в качестве модели, которая позволяет связать в единое целое все структурные элементы текста – сетевой формализм Петри (СП) [13].

Рассматриваемые дискретные системы – события и явления внешнего мира, называемые «ситуациями» или же «фрагментами действительности», полагаются некоей целостностью (системой), состоящей из взаимосвязанных частей, каждая из которых вносит свой вклад в характеристики целого. При анализе, эмпирические системы абстрагируются до уровня множества асинхронно взаимодействующих процессов и неким образом задают поведение системы в целом.

Текст полагается моделью некоторой ситуации. В основе решения лежит анализ текста с выделением в нем текстовых структур, которые можно считать условиями и процессами. Минимальным процессом считается предикация - субъект и поддерживаемый им процессуальный признак. Условия должны соответствовать элементам событийной модели.

Метод решения состоит в определении топологии используемой Сети Петри и начальных условиях. Далее решается соответствующая прикладная задача.

Для дискретных динамических систем ключевые понятия, связанные с описанием процессов могут быть конкретизированы, так как здесь входы представляют собой: характеристики входных данных, сведения о ресурсах, доступных процессу, готовность по условиям, показывающим может ли процесс выполняться в данный момент времени или же должен ожидать сведений от других процессов и т.п. Выходом являются наборы данных, образующихся в результате завершения процесса. Среди наборов данных должны быть данные, являющиеся ответом на экспертный вопрос, поставленный в диалоговом режиме.

Формализм Петри специально создавался для работы с системами, поэтому текст хорошо ими описывается. Топология СП содержит графические примитивы четырех типов: кружков – им

соответствуют условия, плашек, которым соответствуют процессы, дуг от кружков к плашкам, обеспечивающие вход, и от плашек к кружкам – выход. Простые СП пользуются для описания и изучения поведения дискретных динамических систем. Он обладает наилучшими возможностями для описания взаимосвязей элементов и процессов. Это позволяет гибко использовать его для отображения и анализа причинно-следственных связей в самых разнообразных процессах, происходящих в дискретных динамических системах, вне зависимости от их природы.

СП дает возможность автоматизировать содержательную работу с текстом и получить вывод. В данном контексте вывод означает ответ на экспертный вопрос и его получение определяется решением задачи о достижимости требуемой маркировки. Если маркировка достижима, то можно сформулировать вывод, который в общем виде не является логическим, мы назвали интеллектуальным. Также появляется интересная “предсказательная способность” данного подхода - наличие решения задачи достижимости маркировки свидетельствует о существовании ответа на экспертный вопрос, даже если само наличие ответа неочевидно или подвергается сомнению.

Также существенным является возможность использовать текстовые коллекции для автоматизированного получения БЗ. С помощью БЗ моделируются знания эксперта. Функционирующий цифровой симулятор поведения эксперта, т.е. ЭС, представляет собой программный автомат поддерживающий диалог с пользователем на естественном языке. Функционирование такого автомата невозможно без БЗ.

Общие подходы к проектированию ЭС.

Понятие решения для ЭС включает в себя алгоритм получения ответов на вопросы, поставленные к БЗ. Рассмотрим схему получения ответа на экспертный запрос (т.е. вопрос к тексту БЗ). Исходим из того, что при цифровой симуляции поведения эксперта, его знания можно представить коллекцией тематических текстов БЗ. Автоматическое определение смысла компонент текста БЗ представляет собой серьезную трудность - смысл порождается в Центральной Нервной Системе (ЦНС), а в языке нет средств работы со смыслами. Выбор здесь состоит в обучении с учителем. В соответствующем модуле ЭС учителем тегируются компоненты высказываний БЗ, а через теги они привязываются к смыслу.

В процессе размышлений о некоторой ситуации и последующей коммуникации о ней, участвует много разнородных составляющих. Это текст, действительность, участники описываемых ситуаций, их роли, коммуникативная среда, где кто-то говорящий (источник), кто-то слушающий (приёмник) и т.п. Предполагается, что то общее, что объединяет столь разные сущности, требует использования понятий "понимание" и "осмысленность".

Проблема понимания интерпретируется, как способность анализировать (считывать, преобразовывать, группировать к виду) некоторое множество данных, облегчающее в дальнейшем получение решения. Так, в некоторых предметных областях набор данных часто приводится в виду "уравнение для неизвестной переменной, функции, производной функции и т.п.". Получение уравнения свидетельствует о понимании проблемы. Текст, в терминах которого должен быть представлен результат понимания складывающейся ситуации внешним наблюдателем, фиксирующим совокупность событий и фактов, происходящих в процессе функционирования систем, называют встречным текстом. Типовой пример встречного текста – это текст вопроса от говорящего к слушающему.

Под осмысленностью мы понимаем возможность интерпретации некоторого положения дел в терминах и понятиях уже известной ситуации. Так как компоненты встречного текста несут определённый смысл, то к ним применим синоним "смысловые компоненты". Эмпирическим путем установлено, что количество разных типов смысловых компонент не превышает в тексте 100 единиц.

Смысловые компоненты встречного текста с ответами на них, позволяют описать произвольную ситуацию в виде вопросно-ответной таблицы. Например, компонент со значением местоположения, определяется вопросом «где?», а со значением характеристики предмета по материалу – вопросом «из чего?», временные характеристики – вопросом «когда?», со значением причины – «из-за чего?», «почему?», со значением орудия – из чего?; на чем? и т.п.

Наряду с предметными и атрибутивными смысловыми компонентами ситуаций можно указать и процессуальные смысловые компоненты – предикаты, с элементарными вопросами: кто, что делает?

Пример смысловых компонент (подчеркнуты, список не исчерпывающий) приведен в Таблице 1.

Таблица 1. Примеры смысловых компонент.

№	Смысловая компонента ситуации	Текстовый пример
1	со значением содержания речемыслительного, социального действия или восприятия.	<u>Вера в людей</u>
2	со значением назначения предмета.	<u>Пружина для капкана, ключ от библиотеки</u>
3	со значением характеризующим размер, исчисляемую меру величины.	<u>Порт – за сто миль, дом в два этажа</u>
4	со значением орудия действия.	<u>Пить из пиалы, играть на скрипке, тесать топором</u>
5	конструкция, компонент со значением причины действия или проявления признака	<u>Из мести, из-за денег</u>
6	со значением воздействующего фактора предмета или явления	<u>след от пальцев</u>
7	со значением местонахождения.	<u>У фонтана, против цирка</u>
8	со значением способа, средства действия.	<u>Плыть на пароходе, выступление по радио</u>
9	компонент с предметно-вещественным значением подвергающийся действию	<u>Жениться на художнице</u>
10	со значением – часть (части) целого.	<u>Обед из двух блюд, храм – о трех шатрах</u>
11	со значением потенциального действия, состояния (в модально-каузативных конструкциях)	<u>Отказаться от приглашения, решиться на разлуку</u>
12	значением внешней ситуации, природной или социальной, определяющей состояние субъекта.	<u>В тумане, под дождем</u>
13	со значением источника информации или сенсорного восприятия.	<u>узнал из хроники, цитата из Пушкина</u>
14	называющий тему оцениваемой ситуации.	<u>В учете – неразбериха</u>
15	компонент, выражающий временные характеристики.	<u>С первых дней, днем</u>
16	со значением характеристики предмета по материалу, веществу	<u>Из нефти, из глины</u>
...

Вопросно-ответная таблица из кратких вопросов с ответами, представляют ту же самую ситуацию, что и соответствующее текстовое сообщение. Например, сообщению "Евгений по выходным посещает корт, чтобы поиграть в теннис", может быть поставлена в соответствие нижеследующая вопросно – ответная Таблица 2.

Таблица 2. Вопросно-ответная таблица

Краткий вопрос	Смысловая компонента	Смысловая компонента ситуация
Кто ?	Евгений	Деятель
Что делает?	посещает	Действие
Посещает что?	корт	Объект действия
С какой целью ?	чтобы поиграть	Цель
Когда?	по выходным	Время

Как видим, вопросно-ответная таблица несет тот же смысл что и соответствующее высказывание, но не зависит от синтаксиса используемого естественного языка. Вопросно-ответная таблица позволяет решить обратную задачу - о трансформации таблицы в содержательно эквивалентное сообщение, составленное по всем правилам синтаксиса. Необходимо также иметь в виду, что если отдельной смысловой компоненте высказывания можно поставить в соответствие некий элементарный смысл, то для высказывания в целом уже имеются две наиболее общих смысловых составляющих: диктум и модус. Диктум отражает объективное содержание высказывания, а модус - его модальную часть, т.е. отношение субъекта к действительности, описываемой в высказывании.

Модальность проявляется через т.н. модусные рамки, свои для каждого из пяти коммуникативных регистров (в ЭС мы используем только три коммуникативных регистра).

Вот перечень этих модусных рамок:

- a) перцептивная для репродуктивного коммуникационного регистра;
- b) ментальная - для информативного;
- c) волюнтивная - для волюнтивного, и еще две, не используемые для текстовых БЗ экспертных систем.

Тип модусной рамки можно распознать через используемые предикаты. В перцептивных модусных рамках используются (на материале русского языка): предикаты чувства – *видеть, слышать, чувствовать и т.д.*; модусные предикативы на -о – *видно, слышно, заметно*; предикаты зрительного восприятия - *видеть*, а также другие перцептивные предикаты – *слышать, чувствовать и т.д.*

В ментальных модусных рамках возможны: предикаты восприятия в ментальном значении, их корреляты в перифразах – *ходят слухи*; модусные предикативы на -о – *видно, слышно, известно, неизвестно*; предикаты знания, мнения – *знать, верить, думать, считать, полагать и др.*

В волюнтивных модусных рамках должны присутствовать: модальные предикаты – *хотеть, желать, изъявить и др.*; модальные предикативы на -о – *нужно, должно, можно*; глаголы речевого воздействия – *приказывать, требовать, следует, подобает, полагается и т.п.*

Вышеприведенные соображения позволяют обосновать и подготовить систему тегов для ручного тегирования лексиконов предметной области с учителем. Сами лексиконы получают в автоматическом режиме при обработке текстовых коллекций, описывающих предметную область.

Ниже приводится алгоритм.

Обработка текстов БЗ начинается с графематического анализа (токенизации, в западной традиции). В тексте необходимо выделить составные и простые сообщения, и их более мелкие составляющие. Перечень программ для работы с текстами приведен в [14].

Следующий шаг – выделение предикаций и условий. Финальный шаг замена предикаций на абстрактные переменные, называемые идентификаторами процессов. Они обычно выражаются глаголами. Условия тоже обозначаются абстрактными переменными. Затем происходит их постановка на соответствующей позиции в графе. В СП задаем также начальные условия и выполняем СП.

Используются текстовые ресурсы, утилиты по работе с текстами, утилиты для работы с СП и утилиты для решения переопределенных систем линейных уравнений. Токенизатор, построитель лексиконов, ручной теггер для начального обучения лексиконов, утилиты для работы с сетью Петри имеются в свободном доступе. Что должно «уметь» финальное решение? Выдавать интеллектуальный вывод на основе решения задачи о достижимости маркировки для преобразованного в СП текста и его интерпретации в заданной предметной области.

Результаты

Для рассмотрения вопросов цифровой симуляции поведения эксперта в заданной предметной области, требуется выполнение следующих условий:

- 1) необходимо описание, поведения эксперта в разных ситуациях, что выполняется при помощи текстовых Баз знаний;
- 2) должен быть сформулирован экспертный запрос в текстовом виде;
- 3) из текстов БЗ должен быть выделен фрагмент, с описанием текста, подлежащего преобразованию в другой формат;
- 4) это формат должен допускать его преобразования в графическое представление, типа Сети Петри, и последующую обработку формальными математическими методами.

Приведенный выше формализм позволяет реализовать на техническом уровне требуемый функционал для управляемых дискретных динамических систем. Реализация, естественно, начинается с моделирования. Для этого создается либо дескриптивная, либо формальная математическая модель управления поведением соответствующего объекта управления. Напомним, что адаптация управления к новым условиям внешней среды, является характерным свойством интеллектуальных управляющих систем. Интеллектуальные процессы в событийных моделях управления регулируются соответствующими функциональными системами. При этом, предполагается, что парадигму активности составляют интеллектуальные процессы, что позволило рассматривать их применение в технической сфере с позиций функциональной структуры и деятельности Второй сигнальной системы ЦНС человека. В данном подходе считается, что наиболее передовые технологии управления

сложными динамическими объектами предполагают цифровую обработку информационных сигналов с использованием цифровых вычислительных средств. Кроме того, системы автоматического управления в технической сфере – это, как правило, системы реального времени. Иначе говоря, все алгоритмы обработки информационных сигналов в интеллектуальных системах управления должны быть реализованы в реальном времени.

Заключение

Итак, у нас имеется текст, являющийся описательной моделью некоторой ситуации. Структурно это система, состоящая из речевых сообщений. Одновременно, у нас ведется операционная деятельность по созданию объекта управления согласно заданной программе действий. Это тоже система, но состоящая из описаний процессов, предметов, событий и действий и т.д. Спрашивается, каковы наши возможности для автоматизации? Высший уровень автоматизации производственных и экспертных задач, состоит в замещения человека – исполнителя либо эксперта на встраиваемое программируемое автоматическое приложение, например, на Цифровой Симулятор с соответствующим функционалом. Мы различаем две парадигмы Искусственного Интеллекта: Нейросетевую и Символьную. Под Символьным ИИ понимают формализм, моделирующий в широких пределах работу головного мозга человека при работе с символьной и знаковой информацией. Известно, что язык и речь, появились у человека значительно позже, чем зрение и слух. Это значит, что обработка знаковой и символьной информации лежит на более высокой эволюционной ступеньке, чем обычное распознавание образов. Поэтому, можно предполагать, что после нейронных сетей, хорошо работающих с изображениями и звучащей речью, появится, решение, показывающее хорошие результаты при работе со смыслами, в частности в работе ЭС. Мы полагаем, что это будет Символьный ИИ [15], [16].

Список использованной литературы:

- 1 OpenAI (2023) arXiv:2303.08774v2 [cs.CL] 16 Mar 2023. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2303.08774.pdf>
- 2 Russel Stuart J., Norvig Peter (2010) *Artificial Intelligence. A Modern Approach.* (2nd ed.), Upper Saddle River, NJ, Pearson Education, Inc., pp. 54-72.
- 3 Анохин П. К. *Избранные труды: кибернетика функциональных систем.* /Анохин П. К. - М.: Медицина, 1968 – 404 с.
- 4 Buchanan, B. G., Sutherland, G. L., & Feigenbaum, E. A. (1969). *Heuristic DENDRAL: A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry.* In Meltzer, B., Michie, D., and Swann, M. (Eds.), *Machine Intelligence 4.* Edinburgh University Press.
- 5 Buchanan B.G. & Shortliffe E.H. (1984), *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*, Reading, MA.: Addison-Wesley.
- 6 McDermott J. (1982). *R1: A rule-based configurer of computer systems*, *Artificial Intelligence*, 19(1), p. 39-88.
- 7 Wielinga, B.J., Bredeweg, B. (1988). *Knowledge and Expertise in Expert Systems.* In: van der Veer, G.C., Mulder, G. (eds) *Human-Computer Interaction.* Berlin, Heidelberg: Springer.
- 8 Лукин В. А. *Художественный текст: Основы теории и элементы анализа* / Лукин В. А. - М.: Ось-89, 1999.
- 9 Силич, М. П. *Основы теории систем и системного анализа: Учебное пособие* / М. П. Силич, В. А. Силич. — Томск: ТУСУР, 2013. — 342 с.
- 10 Вихнин А.Г. *Штурм четвертого мегапроекта: кто будет новым Биллом Гейтсом?* / Вихнин А.Г. Сакипов Н.З. – М.: Диалог-МИФИ, 2008. – 288 с.
- 11 Желязны, Д. *Говори на языке диаграмм: пособие по визуальным коммуникациям* / Желязны, Д. – М.: Манн, Иванов и Фарбер, 2012. – 304 с.
- 12 Новоселова Д. В. *Графическое представление информации в учебной дисциплине* / Новоселова Д. В. // *Теория и практика научных исследований: психология, педагогика, экономика и управление* -2019 - №3 (7) – С 32-36.
- 13 Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем.* / Питерсон Дж. - М.: Мир, 1984
- 14 *Программы лингвистического анализа и обработки текста* [Электронный ресурс] <http://asknet.ru/analytics/programms.htm>
- 15 Вихнин А.Г. *Символьный искусственный интеллект и его применение в авиации* / Вихнин А.Г., Сакипов Н.З. // *Вестник Академии гражданской авиации*, №3(18), 2020, стр. 76-82.
- 16 Sakipov N. & Vikhnin O. (2021). *The Modern Symbolic Artificial Intelligence and Its Use in Medical Tourism.* *IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, pp. 1-6.

References:

- 1 OpenAI (2023) arXiv:2303.08774v2 [cs.CL] 16 Mar 2023. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2303.08774.pdf>
- 2 Russel Stuart J., Norvig Peter (2010) *Artificial Intelligence. A Modern Approach*. (2nd ed.), Upper Saddle River, NJ, Pearson Education, Inc., pp. 54-72.
- 3 Anokhin P.K. (1968). *Izbrannye trudy: kibernetika funktsionalnykh system [Selected papers: cybernetics of functional systems]* Moscow: Medicina [in Russian].
- 4 Buchanan, B. G., Sutherland, G. L., & Feigenbaum, E. A. (1969). *Heuristic DENDRAL: A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry*. In Meltzer, B., Michie, D., and Swann, M. (Eds.), *Machine Intelligence 4*. Edinburgh University Press.
- 5 Buchanan B.G. & Shortliffe E.H. (1984), *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*, Reading, MA.: Addison-Wesley.
- 6 McDermott J. (1982). R1: A rule-based configurer of computer systems, *Artificial Intelligence*, 19(1), p. 39-88.
- 7 Wielinga, B.J., Bredeweg, B. (1988). *Knowledge and Expertise in Expert Systems*. In: van der Veer, G.C., Mulder, G. (eds) *Human-Computer Interaction*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- 8 Lukin V.A. (1999). *Khudozhestvennyi tekst: osnovy teorii i elementy analiza [Literary text: Fundamentals of theory and elements of analysis]*. Moscow: Os-89 [in Russian].
- 9 Silich M.P. & Silich V.A. (2013). *Osnovy teorii sistem i sistemnoho analiza: Uchebnoe posobie [Basics of systems theory and system analysis: Schoolbook]*. Tomsk: TUSUR [in Russian].
- 10 Vikhnin A.G. & Sakipov N.Z. (2008) *Shturm chetvertogo mehaproekta: kto budet novym Billom Heitsom? [Storm of forth megaproject: who will be new Bill Gates?]*. Moscow: Dialoh – MIFI.
- 11 Zhelyazny D. (2012). *Hovori na yazyke diagramm: posobie po vizualnym kommunikatsiyam [Say it with charts: toolkit]*. Moscow: Mann, Ivanov & Farber [in Russian].
- 12 Novoselova D.V. (2019) *Graficheskoe predstavlenie informatsii v uchebnoi distsipline [Graphical representation of information in educational discipline] Teoriya i praktika nauchnykh issledovaniy: psikhologiya, pedagogika, ekonomika i upravlenie – Theory and practice of scientific researches: psychology, pedagogy, economics and management - №3 (7) – pp 32-36 [in Russian]*.
- 13 Piterson J. (1984). *Teoriya setei Petri i modelirovanie sistem [Petri Net theory and the modelling of systems]*. Moscow: Mir [in Russian].
- 14 *Programmy lingvisticheskoho analiza i obrabotki teksta [Programms for linguistic analysis and text processing]*, asknet.ru. Retrieved from <http://asknet.ru/analytics/programms.htm>
- 15 Vikhnin A.G. & Sakipov N.Z. (2020). *Simvolnyi iskusstvennyi intellekt i ego primeneniye v aviatsii [Symbolic artificial intelligence and its application in aviation]*. *Vestnik Akademii grazhdanskoy aviatsii – Bulletin of Civil Aviation Academy*, №3(18), pp. 76-82.
- 16 Sakipov N. & Vikhnin O. (2021). *The Modern Symbolic Artificial Intelligence and Its Use in Medical Tourism*. *IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, pp. 1-6.

IMPLEMENTATION OF THE ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM ALGORITHM FOR SECURITY INFORMATION AND EVENT MANAGEMENT SYSTEMS

Çelik Y.¹, Fındık O.^{1,2*}, Alaca Y.³, Assanova B.², Sharmukhanbet S.²

¹ Karabuk University, Karabuk, Türkiye

² Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

³ Hitit University, Çorum, Türkiye

*e-mail: oguzfindik@karabuk.edu.tr

Abstract

One of the most used technologies in computer and network security is Security Information and Event Management (SIEM) systems. A SIEM system is a tool that collects logs of all software and hardware connected to the network, detects security violations using these logs, and generates alarm notifications. The SIEM system generates several alerts during operation. It is an essential problem because of the abundance and the correctness of these alerts generated. In this paper, we implement the Artificial Immune System (AIS) algorithm to generate more stable alerts and to increase the verification rates of the alerts produced by SIEM systems. The results show that the adaptation of the AIS algorithm to SIEM systems is successful. When we apply the SIEM systems powered by AIS, then we had got more successful result than the traditional SIEM systems.

Keywords: Security information and event management (SIEM) systems, Information security, Cyber security, Artificial immune systems, Intrusion detection systems.

Аннотация

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ СОБЫТИЯМИ

Ю. Челик¹, О. Финдик^{1,2}, Ю. Аладжа³, Б. Асанова², С. Шармұханбет²

¹Карабукский университет, г. Карабук, Турция

²Атырауский университет им.Х.Досмухамедова, г. Атырау, Казахстан

³Университет Хитит, г. Чорум, Турция

Одной из наиболее часто используемых технологий в области компьютерной и сетевой безопасности являются системы управления информацией о безопасности и событиями (SIEM). Система SIEM — это инструмент, который собирает журналы всего программного и аппаратного обеспечения, подключенного к сети, обнаруживает нарушения безопасности с помощью этих журналов и генерирует тревожные уведомления. Система SIEM генерирует несколько предупреждений во время работы. Это существенная проблема из-за обилия и корректности генерируемых предупреждений. В этой статье мы реализуем алгоритм искусственной иммунной системы (AIS) для генерации более стабильных оповещений и повышения скорости проверки оповещений, генерируемых системами SIEM. Результаты показывают, что адаптация алгоритма AIS к SIEM-системам прошла успешно. Когда мы применили системы SIEM на базе AIS, мы получили более успешный результат, чем традиционные системы SIEM.

Ключевые слова: системы безопасности информации и управления событиями (SIEM), информационная безопасность, кибербезопасность, Искусственные иммунные системы, системы обнаружения вторжений.

Аңдатпа

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ ОҚИҒАЛАРДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИММУНДЫҚ ЖҮЙЕ АЛГОРИТМІН ЕНГІЗУ

Ю. Челик¹, О. Финдик^{1,2}, Ю. Аладжа³, Б. Асанова², С. Шармұханбет²

¹Карабук университеті, Карабук қ., Туркия

²Х.Досмухамедов атындағы Атырау университеті, Атырау қ., Қазақстан

³Хитит университеті, Чорум қ., Туркия

Компьютерлік және желілік қауіпсіздік саласындағы ең көп қолданылатын технологиялардың бірі-қауіпсіздік және оқиғаларды басқару жүйелері (SIEM). SIEM жүйесі-бұл желіге қосылған барлық бағдарламалық жасақтама мен аппараттық құралдардың журналдарын жинайтын, осы журналдар арқылы қауіпсіздіктің бұзылуын анықтайтын және дабыл хабарламаларын жасайтын құрал. Siem жүйесі жұмыс кезінде бірнеше ескерту жасайды. Бұл жасалған ескертулердің көптігі мен дұрыстығына байланысты маңызды мәселе. Бұл мақалада біз тұрақты

ескертулер жасау және SIEM жүйелері жасаған ескертулерді тексеру жылдамдығын арттыру үшін жасанды иммундық жүйе (AIS) алгоритмін енгіземіз. Нәтижелер AIS алгоритмін SIEM жүйелеріне бейімдеу сәтті болғанын көрсетеді. AIS арқылы жұмыс істейтін SIEM жүйелерін қолданғанда, біз дәстүрлі SIEM жүйелеріне қарағанда табысты нәтижеге қол жеткіздік.

Түйін сөздер: ақпараттық қауіпсіздік және оқиғаларды басқару жүйелері (SIEM), ақпараттық қауіпсіздік, киберқауіпсіздік, жасанды иммундық жүйелер, интрузияны анықтау жүйелері.

Introduction

Network infrastructures consist of many devices and software tools such as computers, clients, servers, etc. All machines and software in the network produce logs every day. Due to a large amount of log data, it isn't easy to filter the data that can be helpful to take from network traffic. Network movements need to be reported to analyze incoming and outgoing traffic data and obtain meaningful results for the network.

Identifying the events occurring in information security or network security and taking precautions against them can be provided using these reports and log analysis [1]. If attacks on the network can not be detected correctly, then the security of all components connected to the network is compromised. Since the network is a multi-user system and many connected systems, it is challenging to ensure network security. Log records of all users and system activity must be collected to ensure information security [2]. One of the goals of log management is collecting log records automatically from systems, databases, and users. One of the information security systems developed especially for analyzing logs is a SIEM system.

A SIEM system can become an automated and self-adaptive system using artificial intelligence techniques. A traditional SIEM system has difficulty with newly encountered and multi-step attacks by combining data from many heterogeneous systems. To overcome these difficulties, a self-adaptive and automatic SIEM system is introduced using genetic programming and deploying artificial neural networks [3].

SIEM systems have two classic tasks. The first is to collect log data from software and hardware such as network servers, routers, firewalls, and intrusion detection systems (IDS). Another task is to listen to the network traffic in real-time and apply a series of correlation rules to detect suspicious events and analyze the encrypted network. Since the whole network is complex and large, SIEM log records should be collected in a specific location [4].

In large-scale networks with a large number of security incidents, SIEM systems face problems such as the normalization of data, reducing the number of false positives, and the length of data analysis. Effective data processing plays a vital role in eliminating these problems [5].

A cyber kill chain model was first developed by Lockheed Martin and is known as the Lockheed Martin Kill-Chain model, which is currently used by the National Institute of Standards and Technology (NIST) as a component of the cyber security framework. The Kill-Chain model was used in SIEM systems to generate fewer false positive and false negative alerts [4]. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems are integrated with SIEM systems to be more reliable [4].

One of the methods developed against cyber-attacks is the Artificial Immune System, and it is used to detect abnormal activities in the network for intrusion detection [6].

Artificial Immune System (AIS) has attractive features such as self-configuration, self-learning, and self-adaptation. Thanks to these features, AIS is generally used when anomalies are identified as non-self. Thus, a proactive system is developed to identify and prevent new and unseen anomalies [7].

A self-adaptive SIEM system is improved by deploying artificial neural networks. It is possible to identify the attacks in the existing system by generating the rules and correlations using Artificial Neural Networks (ANN) [4].

Denial of service attacks (DoS) is constantly growing and threatening. Due to their sophistication, ease of application, and improvements in hiding fingerprints, they have recently been the most common types of attacks. When dealing with DoS flooding attacks, the AIS approach has yielded successful results in reducing such attacks [8]. In this approach, various agents are distributed to the devices and software in the network. These agents can identify threats and perform behaviors similar to the biological defense mechanisms of human beings, such as creating quarantine areas and constructing immune memory.

To ensure the security of computers and networks, keep unauthorized users away from the system, or prevent them from logging into the system and capturing information, first, unique authentication and access are provided to users. Such phases form the lowest level of security [9].

The necessary signatures should be well defined, and the size of the large-scale signature databases should be adjusted by this method. There is a high probability of false alarms in a signature database that is not well-sized [10]. If the signature database is more minor than necessary, it is ineffective in detecting attacks and

negatively affects security. A profile of events is created to monitor user behaviors using an anomaly intrusion detection method [10].

The remainder of the paper is organized as follows. A review of SIEM systems is given in Section 2. The design of the dataset for cyberattacks on SIEM systems and the use of SIEM together with AIS are introduced in Section 3. In Section 4, the experimental test results obtained from the proposed SIEM and AIS methods are presented, and finally, some concluding remarks are given in Section 5.

1. Security information and event management system (SIEM)

SIEM systems are software tools that provide the log records produced by all network software and hardware resources to be collected and reported on a central system [11]. A SIEM system contains and stores logs. If the identical records are generated repeatedly, then SIEM will show them as a single event. It is a tool that makes the collected logs readable and categorizes them, manages the events created by generating reports and alarms, and establishes relationships between many events [4].

There are three main challenges in conventional SIEM systems.

1. The existing SIEM systems are highly dependent on the configuration of multiple sensors (agents) deployed over the network. Numerous techniques have been proposed to combine data derived from different sources to help identify attacks.

2. Existing correlation engines require collecting relevant warnings of operators and making a minor effort to choose the most appropriate precaution.

3. SIEM systems attach great importance to the use of automated procedures for real-time analysis of security events. SIEM systems are equipped with autonomous up-to-date information on attacks that prevent further damage to zero-day attacks by self-learning and adaptation to the event association.

Classical management flaws still persist; for example, bringing together many security events reported from multiple heterogeneous systems poses exciting challenges in adapting to new and multi-step attacks.

Methods such as ANN and Genetic Programming have been used to minimize the disadvantages of SIEM systems. ANNs classify all events collected by a SIEM system. The ANN is trained to categorize the attack scenarios whose events are dynamically defined and controlled by the information examined. More precisely, an ANN creates patterns containing the type and number of events to represent a particular multi-step attack. It generates efficient correlation rules by introducing Genetic Programming (GP) into the SIEM correlation engine. It also provides a correlation infrastructure to learn and develop correlation rules for different multi-step attacks automatically. Therefore, it associates events with a specific attack context and makes the response of the event more efficient [12].

A standard SIEM solution must have the components given in Figure 1 to manage and analyze security events at a single place and to follow the incident response processes, if necessary.

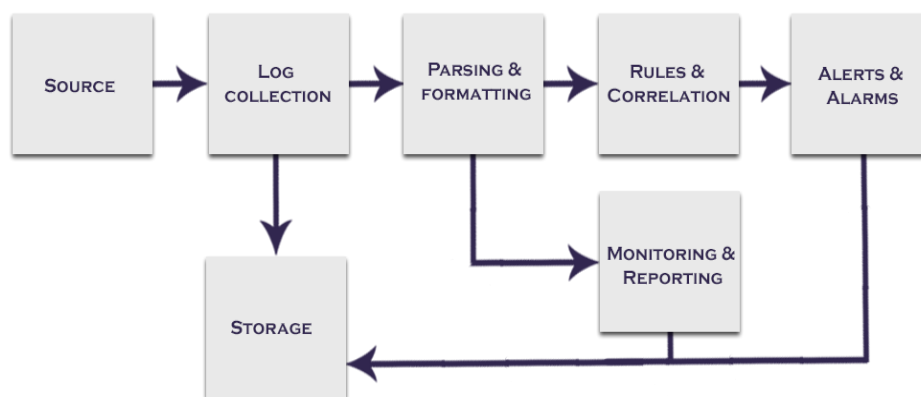


Figure 1. Six basic steps of a SIEM system

1.1 Log Collection Aggregation

SIEM systems collect logs from many different devices connected to the network. Depending on the variability of the systems, before the log collection process is performed the records created by that system in their structure differ [13].

Processing log files collected from software, hardware, and application resources of each system has significant problems [12]. These problems can be listed as follows:

1. The log records being high both in number and size,
2. The recording patterns are different from each other since the logs of each source are collected in its log format,
3. The content of the logs is very different from each other since various events come together to form records.

All devices and resources that are actively connected to the network collect their log records in their format, which allows the patterns of the log records to be designed differently. Due to this difference, it isn't easy to read and analyze the logs. The main reason for the difference in these patterns is that the application areas are not considered quite broad, readability is not prioritized, this process is left to the discretion of the application developers, and most importantly, there is no specific standard. No organization has set a standard regarding this issue, and its deficiency continues. SIEM systems define these events by combining these patterns within specific rules [14].

1.2 Normalization

Normalization correlates by enabling the data to be converted to another format to reveal appropriate information from the log files without disturbing the integrity of the data. Filtering should be applied to log data with specific criteria to reduce massive data. By using this process, unnecessary parts of massive data are removed. The data can be saved in databases so that it may be organized logically. Thus, efficiency will be achieved in terms of time and performance [15].

1.3 Correlation

It is establishing a relationship between logs independent of each other and taking action as a result. In other words, designing of reports from records collected via device or raising alarms from the rules created is called correlation [16]

Correlation is the process of checking millions of data collected every day and storing them in a single directory before reporting. This helps to reduce huge data and creates easy to read by the system administrator. Complex alarms are reported by the correlation system [17].

1.4 Prioritization

Prioritization is the classification process according to critical values if the system is under any attack and this attack is successfully performed. A priority value between 0 and 5 is determined according to the magnitude of the attack [18]. For example, scanning to find vulnerabilities in a network or server port is more important than scanning a printer's port. Administrators can change these priorities in the normalization tables for each event.

1.5 Alarm, Report

These are services for collecting information (logs) of the events that occurred and recorded in the systems and for the analysis and reports of the operations made in the systems. It is the process of creating reports for analysis of all successful and unsuccessful event information or logs in systems having SIEM systems [17]. It is the process of determining that the systems have been attacked by creating alarms and reports and analyzing these attacks in order not to have such attacks again. In contrast, reporting of the log records, graphs, and past analysis is performed. If a problem occurs within certain criteria, an alarm is generated, and the responsible system administrators are warned.

1.6 Post-event Analysis (Incident Response)

A log containing an attack vector or a risky situation caused by multiple threats is called an incident [17]. For example, the reverse TCP connection attempt from the machine where SQL Injection experiment was performed and adding users to that machine can be given as an example. After the event, archiving the logs to analyze logs is called Post-event Analysis (Incident Response).

2. Design of siem dataset

In 1998, DARPA created datasets for intrusion detection. KDD'99 dataset was created in 1999 by adding new ones to these datasets and changing some of the data in the datasets (KDD'99, <http://kdd.ics.uci.edu/>, Tarih yok). KDD'99 dataset, which has become standard, is still up to date for academic studies (DARPA). This dataset consists of 41 features. Among them, 32 features are continuous variables, and nine are discrete variables (KDD'99, <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/task.html>, Tarih yok). We used the KDD'99 dataset to test the method's success proposed in this study [20].

Training Dataset

The training data consists of 65536 data taken randomly from KDD'99, of which 10% can be used. These data determine the population of AIS, that is, the antibody. These training data are mutated with the Clonal

Table 2. Data parsed to columns

0	udp	private	SF		105	146	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.00	snmpgetattack.
1	tcp	smtp	SF		3170	329	...	...	...	0.02	0.00	0.09	0.13	normal.
0	tcp	http	SF		297	13787	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.00	normal.
0	tcp	http	SF		291	3542	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.00	normal.

Data converted into columns must be transformed into numerical data used in AIS. Due to the size of the data, the data were digitized with the preprocessing phase. In the digitization process, the digitization of the protocol names were carried out as TCP = 0, UDP = 1 and ICMP = 2. Flag names, attack names, and service names are shown in Table 3, Table 4, and Table 5, respectively.

Table 3. Digitization of flag names

Flag	S0	S1	S2	S3	SF	SH	OTH	REJ	RSTO	RSTOSO	RSTR
Numerical Value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Table 4. Digitization of attack names

Nr	Attack Names
1	ipsweep, nmap, portsweep, spy, warezclient, saint, mscan,
2	back, buffer_overflow, land, neptune, pod, satan, smurf, teardrop, warezmaster, apache2, udpstorm, mailbomb, processtable
3	loadmodule, perl, rootkit, ps, xterm, sqlattack
4	ftp_write, guess_passwd, imap, multihop, phf, named, sendmail, snmpgetattack, xsnoop, httptunnel, snmpguess, worm

Table 2. Digitization of service names

Service	Nr	Service	Nr	Service	Nr	Service	Nr	Service	Nr
http	0	exec	33	ftp_data	13	csnet_ns	46	daytime	26
smtp	1	printer	34	rje	14	pop_2	47	ctf	27
finger	2	efs	35	time	15	sunrpc	48	nntp	28
domain_u	3	courier	36	mtp	16	uucp_path	49	shell	29
auth	4	uucp	37	link	17	netbios_ns	50	IRC	30
telnet	5	klogin	38	remote_job	18	netbios_ssn	51	nnspp	31
ftp	6	kshell	39	gopher	19	netbios_dgm	52	http_443	32
eco_i	7	echo	40	ssh	20	sql_net	53	urh_i	59
nntp_u	8	discard	41	name	21	vmnet	54	X11	60
ecr_i	9	systat	42	whois	22	bgp	55	urp_i	61
other	10	supdup	43	domain	23	Z39_50	56	pm_dump	62
private	11	iso_tsap	44	login	24	ldap	57	tftp_u	63
pop_3	12	hostnames	45	imap4	25	netstat	58	tim_i	64
								red_i	65

The Use of the Clonal Selection Algorithm

When creatures are exposed to an antigen, this antigen is responded by producing antibodies through B lymphocytes in the bone marrow. As shown in Figure 3, antibodies are on the surface of the B cell and bind into incoming antigens to recognize them. A uniform antibody against each antigen is produced by the B cell. If any antibody recognizes an antigen, then B cells divide and reproduce with the help of the T cells and then grow. This reproduction occurs by cloning a single cell or cluster of cells.

Burnet first introduced the clonal selection theory in 1976 [19]. This theory consists of three basic features, as shown in Figure 3. First, the most suitable antibody is selected among n antibodies. The antibody is proliferated and divided into a set of subpopulation groups. The proliferating antibodies to detect different antigens differ.

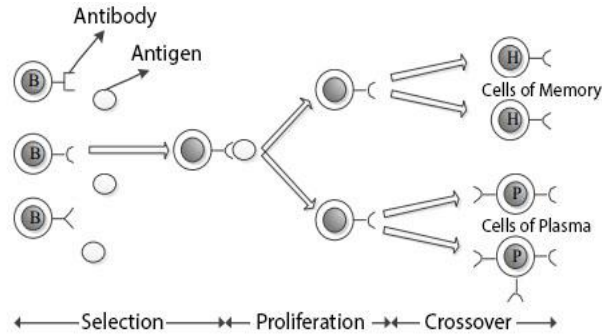


Figure 3. Clonal selection principle

The learning mechanism in the immune system also has an important place. Clonal selection algorithm (CSA) designed to perform machine learning and pattern recognition tasks, where an explicit antigen population represents a set of input patterns at the beginning of 2000 [19]. As shown in Figure 4, the antibody population is first created. The training data that has been preprocessed are read, and an antibody population is created. Then the threshold value that controls the specificity level of the antibodies is determined. Antibodies in the population are cloned to produce new antibodies. Antibodies whose fitness values are lower than the threshold are eliminated. Otherwise, they are added to the population. The test data after the preprocessing are read, and an alarm is generated by comparing the test data with the antibody. The pseudocode of the algorithm is given in Figure 5.

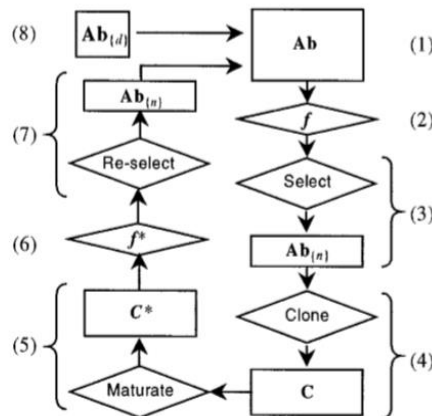


Figure 4. The flowchart of the clonal selection algorithm [1]

```

Input: Ab,Ag; iter,n,d,L;
Output:Abm
for t=1 to iter
  for j=1 to M,
    f:=coding(Ab);
    Abn:=selection(Ab,f,n);
    C:=cloning(Abn,f);
    C:= hypermutation(C,f);
    f:=coding(C);
    Abn:= selection(C,f,n);
    Ab:= add(Ab,Abn);
    Abd:= produce(d,L);
    Ab:= crossover(Ab,Abd,f)
  end
end
end
    
```

Figure 5. The pseudocode of the implementation of CSA on SIEM systems

The threshold value is determined using the Euclidean distance formula. With this formula, the distance between the antibody and antigen is found. Antibody data consists of 42 different data. The test data consists of 42 different data, as well. The distance between the first data of the antibody and the first data of the test data is calculated. By repeating this calculation to all features, all values are added together. The threshold value is determined by taking the average of all these values.

The antibodies and antigens shown in Table 6 and Table 7 are calculated using the Euclidean distance formula starting from the first column to the last column in each row. The threshold value is computed as the average of these values. Antibodies whose values are lower than the threshold are eliminated.

Euclidean distance between Ab (Antibody) and Ag (Antigen) is calculated by Equation (1).

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2} \tag{1}$$

Cloning process:

In this process, all antibodies in Table 6 are cloned using Equation (2).

$$C_i = \text{round} \left(\frac{\beta \cdot s(\text{Ab})}{i} \right), \tag{2}$$

where i is index of the antibody in the population, β is an input parameter and $s(\text{Ab})$ is the size of Ab population. C_i determines the number of antibodies to be cloned.

Table 3 Digitized Ab data

1	2	3	4	5	6	...	...	...	38	39	40	41	42
1	0	5	0	3170	329	...	...	...	0.02	0.00	0.09	0.13	0
0	0	0	0	297	13787	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0
0	0	0	0	291	3542	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.00	0

Table 4 Digitized Ag data

1	2	3	4	5	6	...	...	...	38	39	40	41	42
1	0	0	4	215	626	...	...	...	0.02	0.00	0.09	0.65	0
1	0	13	4	232	2019	...	...	...	0.00	0.00	0.00	1.00	2
0	0	13	4	314	315	...	...	...	0.00	0.00	0.00	0.20	2

Each antibody is cloned n times. Each row and column is cloned with a certain similarity rate. The best n of cloned antibodies are selected and added to the antibody population. The K-means clustering algorithm conducts selection. The best k antibodies are selected for the cloned n antibodies and added to the population. Adding new antibodies provides to detect different antigens. Using three different antigen sets, the algorithm detects false-negative and false-positive alarms.

As shown in Figure 5, the data is first read from the file to create an antibody population. New antibodies are generated by determining the similarity ratios and cloning the population of antibodies. The test data read from the file are compared with the population, and attacks are detected. Steps of the clonal selection algorithm is shown in Figure 6.

3. Computational test results

Experiments on the development of SIEM systems using AIS are introduced in this section. False-positive and false-negative rates of SIEM systems have been significantly reduced by using AIS. Three experiments were carried out using the KDD'99 dataset. KDD'99 dataset includes approximately 4,900,000 instances. Each instance has 42 columns. The last column represents the class of the instance. Each instance is either labeled as normal or as an attack. Table 8 shows the attack types.

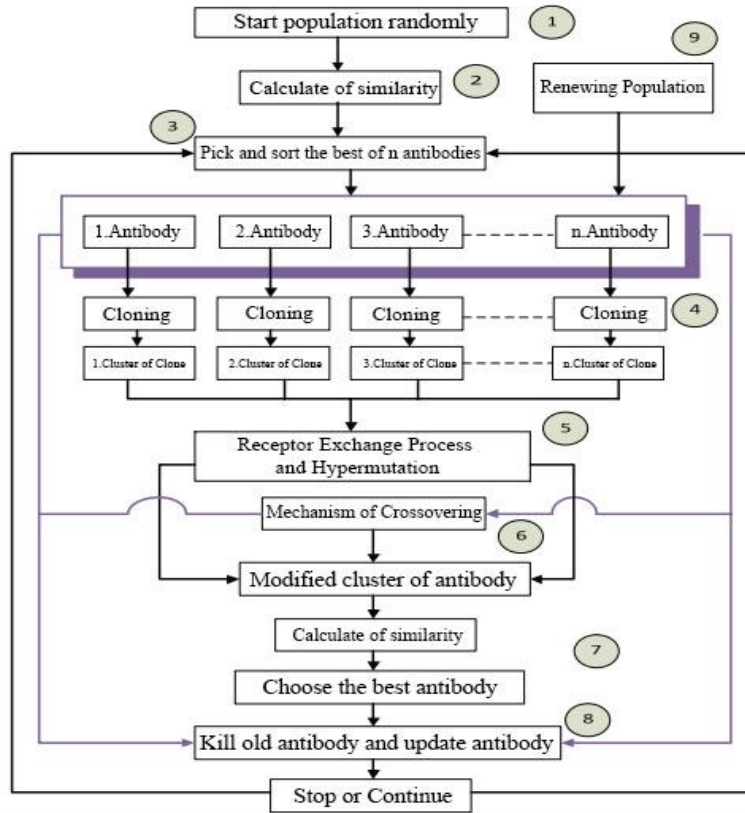


Figure 6. Steps of the clonal selection algorithm

Table 8. Instance and attack types

Class	Type of attack
0	Normal
1	Probe
2	DoS – Denial of Service
3	U2R – User to Root
4	R2L – Remote to Local

The antibody population used in the experiments is shown in Table 9. It is seen that the number of DoS attacks is high in the training data given to AIS. However, since the CSA algorithm is used in the experiments and this algorithm clones itself, there is no problem detecting the low number of attacks.

Table 9. Training population size

Class	Number of attacks
0	21438
1	1379
2	42681
3	4
4	34
Total	65536

Three experiments were carried out in total. The test data used in Experiment 1 are shown in Table 10. The number of DoS attacks is higher than the others in the attacks given as antigen data in Experiment 1. This way measures how much AIS strengthens SIEM in determining the antigens with a different number of attacks.

Table 10. The number of antigen attacks used in Experiment 1

Class	Number of attacks
0	6367
1	809
2	57256
3	3
4	1100
Total	65536

The number of attacks used in Experiment 2 is given in Table 11. Normal values given as antigens in Experiment 2 are higher than others. Thus, when test data that does not contain a normal attack is given to AIS, the system's success has been measured. In particular, the number of false negatives was measured in this experiment. AIS powered by SIEM was tested on test data with a high number of normal data, and as a result, the false-negative number was measured.

Table 11. The number of antigen attacks used in Experiment 2

Class	Number of attacks
0	16698
1	2654
2	41791
3	4257
4	37
Total	65536

The number of attacks used as test data in Experiment 3 is shown in Table 12. The number of antibodies and antigens in the other two experiments is equal. In Experiment 3, the number of attacks in the training data used as the antibody population was defined to be greater than the number of attacks in the test data used as the antigen population. In this way, the number of false positives was measured. By giving SIEM log data to AIS, it was tested how many of these attacks the system can measure in case of an attack.

Table 12. The number of antigen attacks used in Experiment 3

Class	Number of attacks
0	8212
1	15
2	38235
3	1
4	2422
Total	48885

According to the results of the experiments, it is seen that the success rates of SIEM systems, which AIS powers, are quite high. Three experiments were conducted with software developed using the Clonal Selection Algorithm (CSA), one of the main algorithms of AIS, and the experimental test results are given in Table 13. The experimental results show that the use of AIS together with SIEM systems yields high success rates.

Table 13. Experimental results

Experiments	Accuracy Rate	False Positive Rate	False Negative Rate
Experiment 1	%95,13	%5,14	%3,91
Experiment 2	%94,75	%7,73	%8,23
Experiment 3	%97,68	%3,45	%4,52
Average	%95,85	%6,44	%5,55

The antibody population was trained with the training data in AIS, and experiments were carried out with three different test data containing different attacks. The experimental results given in Table 13 show that the success rate of AIS is quite satisfactory and high. Another result of this system is that it produces some values using AIS in SIEM systems. These values are as follows. Detection Rate: Detecting an attack if it exists or identifying a normal situation as abnormal is called detection rate. False Positive: If there is an attack, then the system indicates it as normal. False Negative: Although there is no attack on the system, it indicates an attack and generates an alarm. Table 13 presents false positive, false negative, and detection rates obtained in three experiments. The difference in the experimental results is due to the different test data used in the experiments. It is seen that Experiment 3 is more successful, and the detection rate is higher than the other two experiments.

120 iterations are performed for all experiments, and the success percentages are obtained. A summary of the regression statistics based on the percentage of success and the number of iterations are presented in Table 14. Standard error rates are given according to the number of observations made with this statistical information.

Table 14. Regression statistics

Regression statistics	
Multiple R	0,965952403
R Square	0,933064045
Adjusted R Square	0,93302643
Standard Error	10,20824399
Observation	65536

In addition to the regression statistics in Table 14, the regression graph was obtained in Figure 7. With this regression graph, the percentage of success increased due to the number of iterations. The regression graph changes with the number of observations of the test data used and the number of iterations.

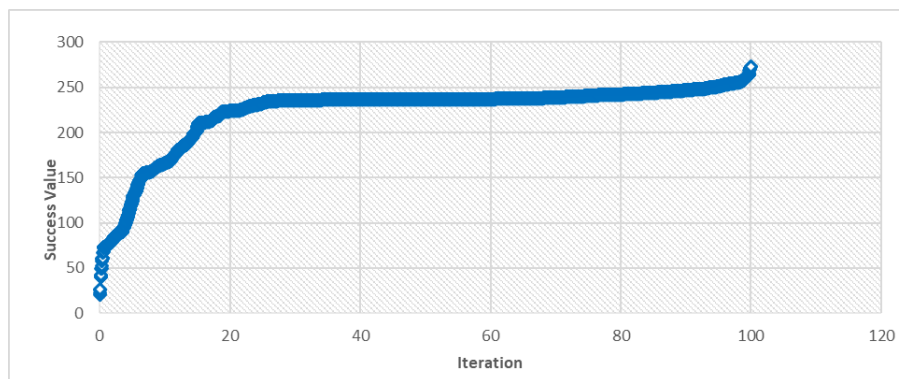


Figure 7. Regression graph

To obtain the regression graph, the iteration number and the percentage of success were chosen as dependent and independent variables, respectively. The regression graph increases as the iteration number increases. As a result, the system was tested on three test data containing different log records and was successful. It is seen that traditional SIEM systems provide significant information security. However, traditional SIEM systems can sometimes give false positive and false negative alarms due to many log data and collecting from multiple sources. Artificial Immune Systems have been used to reduce the number of these alarms, and SIEM systems have been made more robust.

4. Concluding remarks

In detecting cyber security attacks, SIEM systems play an important role. Reviewing the studies carried out on the SIEM systems, it is noticed that they produce false positive and false negative alarms. In this study, to reduce the false-negative alarms generated by SIEM systems, the traditional SIEM system's data analysis phase is adjusted to the CSA of AIS methods, so the SIEM systems' success is increased.

According to the experimental test results obtained from the proposed study:

1. The SIEM systems powered by AIS are more successful than the traditional SIEM systems.

2. The log data used in the SIEM systems should be preprocessed to be used in AIS.
 3. The heterogeneous data collected from different sources should pass certain criteria to filter the unnecessary data.
 4. Log data contains a large amount of event data. To increase the system's performance, similar log and event data should be recorded as a single log.
 5. It has been observed that the variety and amount of training and test data did not affect the success rate.
- Considering all these results, it has been observed that implementation of AIS on the SIEM systems reduced false positive false negative alarm rates and worked more efficiently. As a suggestion, the artificial immune algorithm applied in this paper to the SIEM system can be adjusted to other intrusion detection and prevention systems to increase their performance.

References:

- 1 Katsikas S. and Anastopoulos V. (2019), *A Methodology for the Dynamic Design of Adaptive Log Management Infrastructures*, *EAI Endorsed Transactions on Security and Safety*, 6(19):1-14.
- 2 Sun L., Zhang H., Fang C.(2021), *Data security governance in the era of big data: status, challenges, and prospects*, *Data Science and Management*, 2:41-44.
- 3 Coppolino, L., D'Antonio, S., Nardone, R. et al(2023), *A self-adaptation-based approach to resilience improvement of complex internets of utility systems*, *Environment Systems and Decisions*, <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09937-8>.
- 4 Mauro M. and Sarnob C.(2018), *Improving SIEM capabilities through an enhanced probe for encrypted Skype traffic detection*, *Journal of Information Security and Applications*, 85-95.
- 5 Gunduz M.Z., Das R.(2020), *Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions*, *Computer Networks*, 169:1-14.
- 6 Aldhaheeri S., Alghazzawi D., et al(2020), *Artificial Immune Systems approaches to secure the internet of things: A systematic review of the literature and recommendations for future research*, *Journal of Network and Computer Applications*, 157:1-24.
- 7 Hajisalem V., Babaie S.(2018), *A hybrid intrusion detection system based on ABC-AFS algorithm for misuse and anomaly detection*, *Computer Networks*, 136:37-50.
- 8 Vidal J. M., Orozco A. L. S. and Villalba L. J. G. (2018), *Adaptive artificial immune networks for mitigating DoS flooding attacks*, *Swarm and Evolutionary Computation*, 38:94-108.
- 9 Singh A. P., Kumar S., Kumar A. and Usama M.(2022), *Machine Learning based Intrusion Detection System for Minority Attacks Classification*, *2022 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*, Greater Noida, India, , 256-261, doi: 10.1109/CISES54857.2022.9844381.
- 10 Ma C., Du X., Cao L. (2019), *Analysis of Multi-Types of Flow Features Based on Hybrid Neural Network for Improving Network Anomaly Detection*, in *IEEE Access*, 7:148363-148380.
- 11 Ali A., Khan A., Ahmed M., Jeon G. (2021), *BCALS: Blockchain-based secure log management system for cloud computing*, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 33(4).
- 12 González-Granadillo G., González-Zarzosa S., Diaz R. (2021), *Security Information and Event Management (SIEM): Analysis, Trends, and Usage in Critical Infrastructures*, *Sensors*, 21(14),1-28.
- 13 Kenaza T. (2021). *An ontology-based modelling and reasoning for alerts correlation*. *International Journal of Data Mining, Modelling and Management*, 13(1-2), 65-80.
- 14 Mercl L., & Horalek J. (2020), *SIEM Implementation for Small and Mid-Sized Business Environments*, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14:10497-10501.
- 15 Al-Duwairi B., Al-Kahla W., AlRefai M. A., Abedalqader Y., Rawash A., & Fahmawi R. (2020), *SIEM-based detection and mitigation of IoT-botnet DDoS attacks*, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(2):2182.
- 16 Bezas K., & Filippidou F. (2023), *Comparative Analysis of Open Source Security Information & Event Management Systems (SIEMs)*, *Indonesian Journal of Computer Science*, 12(2):443-468.
- 17 Albasheer H., Md Siraj M., Mubarakali A., Elsier Tayfour O., Salih S., Hamdan M., ... & Kamarudeen S. (2022), *Cyber-attack prediction based on network intrusion detection systems for alert correlation techniques: a survey*, *Sensors*, 22(4):1494.
- 18 Ahmad A., Desouza K. C., Maynard S. B., Naseer H., & Baskerville R. L. (2020), *How integration of cyber security management and incident response enables organizational learning*, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 71(8):939-953.
- 19 Singh K., Kaur L., & Maini R. (2022), *A survey of intrusion detection techniques based on negative selection algorithm*, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1-11.
- 20 KDD'99, "<http://kdd.ics.uci.edu/>," [Online]. Available: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>. [Accessed 10 08 2023].

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

МРНТИ 14.35.01
УДК 378.14.015.62

10.51889/2959-5894.2023.83.3.021

К.С. Абдиев^{1}, Д.М. Ескендирова¹, М. Жасандықызы¹, Г.С. Примбетова²*

¹*Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан*

²*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

**e-mail: k.abdiyev@turan-edu.kz*

О НОВЫХ ПОДХОДАХ В ОЦЕНКЕ КВАЛИФИКАЦИИ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Аннотация

Основной целью исследования, проводимого авторами статьи, является разработка модели внутренней оценки уровня профессиональной компетентности выпускников бакалавриата. Оценка уровня компетентностей на стадии формирования в вузе может стать частью системы подготовки выпускников к квалификационным экзаменам. Согласно проекту Закона РК «О профессиональных квалификациях», подтверждение квалификаций должно проводиться работодателями. Для определения формы и содержания разрабатываемой внутренней системы оценки проведен контент-анализ статей и документов, описывающих существующие квалификационные экзамены в сфере медицины и здравоохранения РФ и Казахстана, независимой оценки квалификации ИТ-специалистов РФ, Оценки знаний педагогов Казахстана. Проведен также анализ содержания профессиональных стандартов отрасли ИТ Казахстана, международных документов, описывающих квалификационные требования к ИТ-специалистам. В вузах Казахстана еще не накоплен опыт использования профессиональных стандартов отрасли ИТ при разработке образовательных программ. Сопряжение содержания образовательных программ вузов с требованиями к профессиональным навыкам, отраженными в отраслевых стандартах, должно стать основой подготовки выпускников к подтверждению квалификации в независимых центрах.

Ключевые слова: профессиональные компетентности, профессиональные навыки, оценка квалификаций, оценка навыков, профессиональные стандарты, трудовые функции.

Аңдатпа

К.С. Абдиев¹, Д.М. Ескендирова¹, М. Жасандықызы¹, Г.С. Примбетова²

¹*«Туран» университеті, Алматы қ., Қазақстан*

²*Астрахань мемлекеттік техникалық университеті, Астрахань қ., Россия*

АТ-МАМАНДАРЫНЫҢ БІЛІКТІЛІГІН БАҒАЛАУДАҒЫ ЖАҢА ТӘСІЛДЕР ТУРАЛЫ

Мақала авторлары жүргізген зерттеудің негізгі мақсаты – бакалавриат түлектерінің кәсіби құзыреттілік деңгейін ішкі бағалау моделін жасау. ЖОО-да қалыптасу кезеңіндегі құзыреттілік деңгейін бағалау бітірушілерді біліктілік емтихандарына дайындау жүйесінің бөлігі бола алады. «Кәсіби біліктілік туралы» Қазақстан Республикасы Заңының жобасына сәйкес біліктілікті растауды жұмыс берушілер жүзеге асыруы тиіс. Өзірленетін ішкі бағалау жүйесінің түрі мен мазмұнын анықтау мақсатында Ресей Федерациясы мен Қазақстандағы медицина және денсаулық сақтау саласындағы қолданыстағы біліктілік емтихандарын сипаттайтын мақалалар мен құжаттардың мазмұнын талданды, Ресей Федерациясындағы АТ саласы мамандардың біліктілігін тәуелсіз бағалау және Қазақстандағы Педагогтер білімін бағалау шараларының да мазмұны талданды. Сондай-ақ Қазақстанның АТ саласының кәсіби стандарттарының, АТ мамандарына қойылатын біліктілік талаптарын сипаттайтын халықаралық құжаттардың мазмұнына талдау жүргізілді. Қазақстанның жоғары оқу орындары білім беру бағдарламаларын әзірлеу кезінде АТ саласының кәсіби стандарттарын пайдалану тәжірибесін әлі жинақтаған жоқ. Жоғары оқу орындарының білім беру бағдарламаларының мазмұнын салалық стандарттарда көрсетілген кәсіптік дағдыларға қойылатын талаптармен сәйкестендіру түлектерді дербес орталықтарда біліктіліктерін растауға дайындауға негіз болуы тиіс.

Түйін сөздер: кәсіби құзыреттер, кәсіби дағдылар, біліктілікті бағалау, дағдыларды бағалау, кәсіби стандарттар, еңбек функциялары.

Abstract

ABOUT NEW APPROACHES IN ASSESSING THE QUALIFICATIONS OF IT-SPECIALISTS

Abdiyev K.S.¹, Yeskendirova D.M.¹, Zhassandykyzy M.¹, Primbetova G.S.²

¹ *Turan University, Almaty, Kazakhstan*

² *Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

The main goal of the study conducted by the authors of the article is to develop a model for internal assessment of the level of professional competence of undergraduate graduates. Assessment of the level of competencies at the stage of formation at the university can become part of the system for preparing graduates for qualification exams. According to the draft Law of the Republic of Kazakhstan “On professional qualifications”, confirmation of qualifications should be carried out by employers. To determine the form and content of the developed internal assessment system, a content analysis of articles and documents describing the existing qualification exams in the field of medicine and health care in the Russian Federation and Kazakhstan, an independent assessment of the qualifications of IT specialists in the Russian Federation, and Assessment of the knowledge of teachers in Kazakhstan was carried out. The analysis of the content of the professional standards of the IT industry of Kazakhstan, international documents describing the qualification requirements for IT specialists was also carried out. The universities of Kazakhstan have not yet gained experience in using the professional standards of the IT industry in the development of educational programs. Matching the content of educational programs of universities with the requirements for professional skills, reflected in industry standards, should become the basis for preparing graduates for confirmation of qualifications in independent centers.

Keywords: professional competencies, professional skills, qualification assessment, skills assessment, professional standards, job functions.

Введение

Основное направление взаимодействия вузов и работодателей сфокусировано на подготовку квалифицированных специалистов для рынка труда страны. При этом главной задачей была и остается не допущение большого разрыва между требованиями к подготовке специалистов со стороны работодателей и уровнем подготовленности выпускников вузов к осуществлению профессиональной деятельности. На решение этой задачи нацелено создание условий для прохождения студентами производственной практики, совместная разработка образовательных программ (ОП), совместное участие в разработке и обсуждении профессиональных стандартов и другие меры. Реформы, проводимые в последние годы в сфере высшего образования и национальной системе квалификаций в Казахстане, высветили ряд проблем, на решение которых должны быть направлены усилия ученых, руководителей и преподавателей вузов и работодателей из разных отраслей экономики.

В рамках проводимых реформ в системе высшего образования все вузы Казахстана последние три года выдают дипломы без указания квалификации выпускников, указывая лишь академические степени и наименование ОП, подтверждение уровня квалификации должно осуществляться со стороны работодателей. Это явилось следствием того, что Министерство образования и науки РК в 2018 году утвердил новый Классификатор направлений подготовки кадров с высшим и послевузовским образованием, в котором было исключено понятие «специальность», указывались только области образования и направления подготовки [1]. При этом использовалась Международная стандартная классификация образования (МСКО- 2013), семизначные цифровые коды указывающие области образования и направления подготовки были приведены в соответствие с Европейской рамкой квалификации: бакалавриат – 6В, магистратура/резидентура – 7М/7R, докторантура – 8D. Согласно новому классификатору области образования 6В06 Информационно-коммуникационные технологии относятся направления подготовки 6В061- Информационно-коммуникационные технологии, 6В062- Телекоммуникации, 6В063- Информационная безопасность. Новый Классификатор стал основой кардинального изменения в сфере высшего образования, основной сутью которого является отказ от присвоения квалификаций вузами и передача этой функции на независимые от вузов центры.

Для регулирования вопросов признания квалификаций в Казахстане разработан Закон «О профессиональных квалификациях», который в настоящее время находится на стадии утверждения [2]. В проекте Закона определено, что Национальная система квалификаций состоит из следующих компонентов: национальная и отраслевые рамки квалификаций; профессиональные стандарты; реестр профессий; квалификационные программы; центры признания. Дано следующее определение «Квалификационная программа – комплекс мер, используемых для оценки соответствия кандидата

требованиям профессиональных стандартов, а при их отсутствии квалификационным требованиям к применению знаний, умений и навыков в определенных условиях работы с использованием определенного оборудования, методологии и (или) инструментов». Также, приведены основные принципы признания профессиональных квалификаций, это – объективность, прозрачность и открытость, независимости организаций, признающих профессиональные квалификации, от организаций образования. Несмотря на то, что регулирующий закон еще не принят, существующий Реестр утвержденных профессиональных стандартов служит ориентиром для вузов в работе по подготовке специалистов, соответствующих требованиям работодателей.

Вместе с тем, в 2022 году утверждены вторые версии 25 профессиональных стандартов (далее ПС) отрасли ИТ [3]. В этих условиях вузы продолжают ориентироваться на требования ПС, включая их в содержание своих ОП. Однако, не решенным является задача оценки готовности выпускников бакалавриата к выполнению трудовых функций своих выбранных профессий.

Таким образом, наблюдается противоречие между тем, что обучение бакалавров проводится на основе общих стандартов образования (ГОС ВО – государственный общеобязательный стандарт высшего образования) и содержании ОП университетов и тем что, квалификационный экзамен (признание квалификации) будет построено на требованиях работодателей, которые включены в содержание ПС. Это противоречие является серьезной проблемой при создании системы подготовки выпускников бакалавриата - будущих ИТ-специалистов к квалификационному экзамену. Проблему усиливает тот факт, что содержание ПС отрасли ИТ не прошли проверку практикой, хотя они начали разрабатываться с 2018 года, в 2022 году утверждены уже вторые версии ПС, однако практического применения они не имеют.

Предлагаемый в данной статье подход, по нашему мнению, будет разрешением противоречия, описанного выше. Поскольку подход построен по итогам анализа содержания существующих квалификационных экзаменов, проводимых работодателями и оценки возможности включения элементов названных мероприятий в учебный процесс вузов. При успешном решении существующей проблемы студенты должны получить возможность оценки своей готовности к выполнению профессиональной деятельности находясь еще в стенах вуза. Такая оценка, на наш взгляд, является сильной мотивацией не только для выпускников, но и для профессорско-преподавательского состава, т.к. ориентирует их работу на конечный результат. Утвержденные ПС при этом не будут оставаться просто формальными документами, они будут давать конкретные направления совершенствования ОП и учебных планов вузов. Для этого необходимо уже при поступлении в вуз объявлять о том, на какие ПС будет ориентирована подготовка в рамках ОП. Это очень важно в связи с тем, что количество утвержденных ПС достаточно много, очевидно что надо делать ограниченный выбор исходя из возможностей вуза, и студенты это должны знать при построении своей траектории обучения.

Методология исследования

Для поиска ответа на поставленную проблему нашего исследования, определения подходов к разработке модели оценки готовности выпускников бакалавриата к выполнению профессиональной деятельности нами проведен контент-анализ разных источников по следующим темам:

- статьи и документы, посвященные описанию роли Европейской рамки квалификаций, также описанию опыта внедрения Национальных рамок квалификаций России и Казахстана;
- результаты исследований, посвященных вопросам профессиональной стандартизации, статьи, описывающие содержание таких широко распространенных международных стандартов отрасли ИТ как Computing Curricula, European e-Competence Framework (e-CF), Skills Framework for Information Age (SFIA);
- содержание казахстанских ПС отрасли ИТ, сравнение их основных характеристик с международными стандартами;
- документы, описывающие содержание сертификационных экзаменов в области здравоохранения РФ и Казахстана. Этот выбор был обусловлен тем, что профессии отрасли здравоохранения традиционно относятся к наиболее регулируемым профессиям, и здесь накоплен наибольший опыт по организации признания квалификаций;
- документы с описанием содержания экзамена «Оценка знаний педагогов (ОЗП, ранее – Национальный квалификационный тест, НКТ), как единственного квалификационного экзамена в Казахстане, в котором участвуют выпускники бакалавриата;
- содержание сертификационного экзамена ИТ-специалистов, проводимого в рамках Независимой оценки квалификаций, РФ.

Результаты и обсуждение

Впервые профессиональные стандарты начали разрабатывать и внедрять в европейских странах более 20 лет назад. На первом этапе страны ЕС обсудили вопрос о разработке Европейской рамки квалификации. Европейская система образования слишком разобщенная, поэтому решение данной проблемы потребовало больших усилий от участников.

«В Копенгагене в ноябре 2002 г. была принята Декларация Европейской Комиссии и министров образования европейских стран по развитию сотрудничества в области профессионального образования и обучения в Европе, положившая начало так называемому «Копенгагенскому процессу», в которой формулировались следующие задачи:

- создание единого европейского пространства в области ПОО;
- обеспечение прозрачности квалификаций (за счет введения Европейского резюме, Приложения к диплому или свидетельству о профессиональном образовании, Europass Mobility — свидетельства об обучении за границей, в том числе и в процессе трудовой деятельности, и европейского языкового портфолио);
- решение проблемы признания компетенций и квалификаций (создание единой рамки для обеспечения прозрачности);
- создание единой системы переноса кредитных единиц (разработка механизмов переноса и признания компетенций и (или) квалификаций между разными странами и на различных уровнях путем установления референциальных уровней, разработки общих принципов сертификации и др.);
- формирование общих принципов признания неформального и спонтанного обучения (разработка общих принципов признания с учетом позиций различных категорий субъектов образования и обучения) и ряд других.

Ключевыми понятиями интеграционных процессов являются понятия прозрачности и признания, которые понимаются следующим образом. Прозрачность (квалификаций и компетенций) – доступная и понятная информация, необходимая для определения и сравнения ценности квалификаций на отраслевом, региональном, национальном и международном уровнях. Признание профессиональных квалификаций — подтверждение того, что набор квалификаций и компетенций обладает показателями, которые, по меньшей мере, эквивалентны требованиям, предъявляемым органом, уполномоченным признавать квалификации и компетенции, в том числе полученные в ходе неформального и спонтанного образования» [4, с.6-7].

После того, как были разработаны Европейские рамки квалификации (ЕРК), более ста государств приняли за создание национальных рамок квалификации (НРК). Необходимо отметить, что в ЕРК очерчены квалификационные требования к специалистам в различных областях, соответствующие европейским стандартам, особенностям производства и т.д. В свою очередь, «Национальные системы квалификаций включают в себя отдельные взаимодополняющие компоненты – национальную рамку квалификаций; отраслевые рамки квалификаций, формируемые на основе профессиональных стандартов, которые, в свою очередь, проектируются на образовательные стандарты; системы оценки результатов обучения и сертификации, предусматривающие единый инструментальный накопления и признания квалификаций на национальном и общеевропейском уровнях. НРК представляет собой структурированное по уровням описание квалификаций, выраженных в знаниях, умениях, уровне ответственности, сложности и самостоятельности выполнения работ, с помощью которых осуществляется взаимосвязь результатов обучения и устанавливается соотношение дипломов, свидетельств и сертификатов» [5, с.74]. Понятие «квалификация» в ЕРК рассматриваются, как «формальный результат процесса оценки и официального признания результатов обучения, получаемый в случае, когда компетентный орган считает, что лицо достигло результатов обучения, соответствующих установленным стандартам» [6, с.12]. Мнения представителей разных стран по данному вопросу разделились, так как в одних странах считается, что профессией нельзя овладеть на половину, необходимо полностью овладеть компетенциями, в других странах – в начале профессиональной деятельности достаточно владение базовыми компетенциями, в дальнейшем можно овладеть другими более узкими профессиональными навыками. Данное разногласие позволило странам уточнить национальные особенности системы подготовки специалистов и началась работа по разработке НРК, собственных профессиональных стандартов.

Европейский фонд образования в опубликованном в 2021 году документе [7] описал историю развития и нынешнее состояние Национальной рамки квалификаций Казахстана. В документе отмечено, что «...В Казахстане есть сложившаяся структура НРК и дескрипторы уровней, была

принята своя НРК, назначены государственные учреждения и распределены основные функции между заинтересованными лицами. Таким образом, она находится на этапе внедрения». В разделе «Цели НРК» указано, что она разрабатывалась как единая структура классификации квалификаций. Она будет включать все квалификации гарантированного качества, полученные в результате программ образования и обучения в сфере общего среднего, высшего, профессионального образования и образования взрослых. НРК предназначена для самых разных групп пользователей, в том числе граждан, работодателей и органов образования. В числе других отмечены следующие задачи НРК:

- описывать с единых позиций требования к результатам обучения квалификаций;
- разрабатывать на единой методологической основе профессиональные стандарты, стандарты образования и образовательные программы;
- поддерживать разработку оценочных материалов.

Таким образом, НРК стала основой для разработки Отраслевых рамок квалификаций и профессиональных стандартов по всем отраслям.

Одной из первых работ, обобщающих опыт разработки профессиональных стандартов разных отраслей, а также опыт разработки ОП на их основе, стал сборник статей РУМО при КазНУ им. аль-Фараби [8]. В работах авторов сборника проводился анализ соответствия содержания некоторых ОП («Маркетинг», «Менеджмент» и др.) требованиям ПС, такая работа сравнивалась с опытом других стран. Также, в статьях некоторых авторов приведена критика содержания ПС разных отраслей. В предисловии сборника указывалось, что «Основной задачей формируемой системы профстандартов является внедрение процесса подтверждения квалификации работников через профессиональный экзамен. Такой механизм можно обеспечить только через выстраивание сети независимых сертификационных центров, которые будут подтверждать профессиональный уровень специалистов. Оценка, получаемая в сертификационном центре, будет служить гарантией профессиональной состоятельности претендента на работу».

В Казахстане ПС отрасли ИКТ начали разрабатываться с 2017-2018 годов, было разработано более 40 стандартов. В 2022 году при актуализации содержания были рассмотрены и утверждены только 25 стандартов, относящиеся к «чисто» ИТ сфере. Как определено в статье 117 Трудового кодекса РК, «Профессиональный стандарт – стандарт, определяющий в конкретной области профессиональной деятельности требования к уровню квалификации и компетентности, к содержанию, качеству и условиям труда» [9]. Поскольку прошло не много времени с утверждения вторых версий ПС отрасли ИТ, то в вузах еще не накопилось большого опыта их использования. Тем не менее, анализируя содержание новых версий ПС можно отметить следующее:

- всего в 25 ПС отрасли ИТ описаны 65 разных профессий, из них в 37 профессиях есть уровень 5 по Отраслевой рамке квалификаций (ОРК). Этому уровню соответствует выпускники бакалавриата без опыта работы,
- при разработке стандартов были использованы два разных классификатора – классификатор занятий (КЗ), версия 2005 года и Общий классификатор видов экономической деятельности (ОКЭД), который присваивается предприятиям при первичной регистрации. Из-за такого подхода, профессиональные группы, к которым относятся профессии и коды профессий определяются не однозначно.

Можно также отметить, что не был использован опыт признанных международных документов, регулирующих ИТ-профессии на рынке труда. Одной из главных особенностей документов, разработанных в развитых странах, является использование квалиметрического подхода, т.е. все требования к профессиональным навыкам сформулированы с соблюдением свойства измеримости.

Содержание работ, проведенных в области международной стандартизации ИТ-образования, наиболее полно описаны в статье Сухомлина В.А., Зубаревой Е.В. [10]. Авторы отмечают следующие направления процесса стандартизации методических основ в сфере подготовки кадров:

- стандартизация квалификационных требований (компетенций/ навыков/ профилей профессиональных ролей) в области ИТ,
- создание отраслевых сводов знаний (Body of Knowledge – BoK) для актуальных доменов и видов деятельности области ИТ,
- стандартизация куррикулумов (учебно-методических материалов) по направлениям подготовки ИТ-кадров в системе образования.

К числу наиболее развитых и широко применяемых методологий и систем стандартизации цифровых навыков/компетенций в области ИТ авторы вышеназванной статьи относят Фреймворк

навыков для информационного века (SFIA – Skills Framework for the Information Age) и Европейский фреймворк компетенций (e-CF – European e-Competence Framework). Основным концептуальным документом курикулумной стандартизации назван Computing Curricula.

В Таблице 1 мы привели основные характеристики международных документов и системы профстандартов ИТ-отрасли Казахстана. Следует отметить, что в международных документах можно точно определить количество описываемых компетенций, навыков. К тому же все требования являются измеримыми, что очень сильно помогает при разработке заданий для оценки уровня профессиональных навыков. В казахстанских стандартах требования сформулированы в виде «умения и навыки», т.е. список умений и навыков не разделен, что является не правильным с точки зрения определений этих важных понятий. Для подсчета количества навыков требуемых для выполнения конкретных профессиональных функций необходимо провести дополнительное методическое исследование. Поэтому, в качестве основного показателя в таблице мы привели только ориентировочное количество трудовых функций. Также необходимо отметить, что задания для оценки уровня профессиональных навыков, в отличие от заданий для оценки требуемых для этого навыка знаний и умений разрабатываются совершенно по другим методам. Т.е. можно утверждать, что требования к знаниям, умениям и навыкам в разрезе трудовых функций сформулированы без учета требования их измеримости.

Таблица 1. Сравнительное описание основных характеристик международных регулирующих документов отрасли ИТ и профессиональных стандартов Казахстана. Составлено авторами на основе данных статьи [10] и Реестра утвержденных профессиональных стандартов Казахстана [3]

Наименование документа, страна	Актуальная версия	Общее описание	Количество описываемых компетенций, навыков
Computing Curricula (CC), США	CC2020, версия 2020 г.	7 актуальных направлений: Информационные системы (IS2020), Компьютерные науки (CS2013), Программная инженерия (SE2014), Компьютерная инженерия (CE2016), Информационные технологии (IT2017), Кибербезопасность (CSEC), Наука о данных (DS2021)	По направлению IS2020, описаны 116 обязательных и 62 факультативных компетенций
European e-Competence Framework (e-CF), Европейский союз (EC)	4-версия, 2021г.	Для описания e-компетенций используются четыре измерения (dimensions). Измерение 4 определяет требования к знаниям и умениям, относящимся к e-компетенциям.	Определена 41 компетенция
Skills Framework for Information Age (SFIA), Великобритания	8-версия, 2021г.	Трехуровневая иерархическая система: категории, подкатегории, навыки. Используются отраслевые своды знаний, Bodies of Knowledges – BoK.	Описан 121 индивидуальный навык
Профессиональные стандарты отрасли ИТ, Казахстан	2-версии, 2022г.	Комплект состоит из 25 ПС. Требования к знаниям, умениям и навыкам описаны в разрезе трудовых функций каждой профессии.	В 25 ПС описаны 65 профессий. В каждой профессии описаны 3-7 трудовых функций.

Ученые всесторонне изучают проблему разработки и внедрения профессиональных стандартов. Изучив проблему разработки профессиональных стандартов, коллектив ученых РФ (Волошина И.А., Зайцева О.М., и др.) выявили причины торможения процесса «становления системы профессиональной стандартизации:

- несформированность позиции работодателей по поводу целесообразности разработки и эффективности использования профессиональных стандартов как новых механизмов управления персоналом и повышения качества профессионального образования;

- отсутствие широкого экспертного сообщества, способного квалифицированно осуществлять информационное и методическое сопровождение процесса разработки профессиональных стандартов, что дезориентирует работодателей и отчасти формирует негативное отношение к необходимости разработки профстандартов;

- отсутствие общепринятых подходов в методике формирования профессиональных стандартов, существование терминологических разногласий, что приводит к неоднозначному оцениванию качества профессиональных стандартов» [11, С.11-12].

Отмеченные выше причины актуальны не только России, но и для всех стран СНГ. Взаимодействие вузов и работодателей, бизнес среды до сих пор осуществлялось только по вопросам прохождения студентами практики на их базе, также трудоустройства выпускников вузов. Следующим этапом взаимодействия является разработка профессиональных стандартов, совместных образовательных программ, и финальный этап – создание модели квалификационных экзаменов.

В докладе «Оценка универсальных компетентностей как результатов высшего образования» [12] есть информация о проведенном в 2015–2018 годах международном проекте SUPERtest (Study of Undergraduate Performance). Он был направлен на измерение образовательных результатов по дисциплинам фундаментального (математика и физика) и профессионального циклов, а также измерение навыков критического мышления студентов-инженеров в России, Китае, Индии и США. Исследование впервые позволило отследить, как меняются компетентности студентов компьютерных наук и электронной инженерии на протяжении учебы, и сопоставить данные четырех стран. Исследование SUPERtest инициировал Стэнфордский университет в партнерстве с НИУ ВШЭ и университетами Китая и Индии. В исследовании участвовали более 30 000 студентов-бакалавров из «элитных» и «массовых» вузов, примерно в равном количестве от каждой страны. Уровень развития компетентностей студентов измерялся трижды: на входе в вуз, в конце второго курса и в конце обучения. Этот проект является единственным примером внешнего независимого оценивания уровня сформированности профессиональных компетентностей на стадиях формирования в вузе.

В аналитическом докладе Сорокина П.С., Мальцевой В.А., Гасс П.В. «Как и зачем измерять профессиональные навыки?» систематизированы и описаны традиционные и новейшие цифровые подходы к измерению и фиксации профессиональных навыков. Выявлен новый сегмент инструментов фиксации профессиональных компетенций через анализ реальной практической деятельности. Представлен отдельный раздел, описывающий российский опыт оценки профессиональных навыков, его особенности и перспективы. Среди прочих практик отмечена добровольная оценка компетенций в формате квалификационного экзамена на подтверждение профессиональных знаний и навыков в соответствии с профессиональным стандартом. На 2020 года утверждено 1347 стандартов. Квалификационный экзамен включает теоретическую часть (тестирование в цифровой оболочке) и практическое задание, подразумевающее экспертную оценку [13]. В докладе, в основном, описаны проблемы разработки стандартизированного инструмента для внешнего оценивания профессиональных навыков. Отмечено, что это является еще не решенной научной проблемой. Как еще отмечают авторы доклада, публикации в области измерения профессиональных навыков имеют глубокую отраслевую специфику, а сами измерения зачастую специфичны для конкретной предметной области. Основная часть публикаций с упоминанием измерений представлена в области медицины и заботы о здоровье (42% публикаций), в сфере социальных наук (23%), дисциплин STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) (14%). Очевидно, большая доля публикаций по измерениям в области медицины и здравоохранения связана с тем, что профессии этой отрасли относятся во многих странах к регулируемым профессиям. Этот вывод является справедливым для РФ и Казахстана, где сертификационные экзамены для медицинских работников проводятся уже много лет, и накоплен большой опыт.

В Российской Федерации сертификационный экзамен для медицинских и фармацевтических работников проводится в соответствии с требованиями специального Приказа Министерства здравоохранения РФ. «Сертификат специалиста свидетельствует о достижении его обладателем уровня теоретических знаний, практических навыков и умений, достаточных для самостоятельной профессиональной (медицинской или фармацевтической) деятельности» [14, п.1]. К экзамену допускаются выпускники медицинских и фармацевтических колледжей и вузов. Данный экзамен принимает экзаменационная комиссия, в состав которой входят специалисты в области здравоохранения и медицинской науки. Сертификат выдается на 5 лет.

Сертификационный экзамен проводится в три этапа: 1) тестирование, 2) оценка практических навыков, 3) собеседование. Тестирование проводится в течение 2 часов. Тестируемые выполняют 100 тестовых заданий по всем разделам специальности. Формат проведения может быть либо бланочный, либо компьютерный. Целью тестирования является определение объема и качества знаний и особенностей профессионального мышления выпускников медицинских вузов и колледжей.

Минимально тестируемые должны выполнить 70% тестовых заданий, оценка «хорошо» ставится при выполнении ими 80-89% тестовых заданий, оценка «отлично» ставится при выполнении 90% и более 90% тестовых заданий. Согласно положению об экзамене «Оценка практических навыков включает проверку манипуляционной техники по результатам обучения и/или на основании представления с места работы экзаменуемого письменного подтверждения достаточности его практических навыков». На третьем этапе в рамках собеседования оцениваются умение решать профессиональные задачи, анализировать и принимать решение. К профессиональным задачам относятся диагностические, тактические, организационные и др.

В Республике Казахстан сертификационный экзамен для медицинских и фармацевтических работников, специалистов санитарно-эпидемиологической службы со средним (техническим и профессиональным), послесредним, высшим и послевузовским медицинским, фармацевтическим образованием, в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения проводится в соответствии со следующими приказами Министра здравоохранения РК: 1) приказ «Об утверждении правил проведения сертификации специалиста в области здравоохранения, подтверждения действия сертификата специалиста в области здравоохранения, включая иностранных специалистов, а также условия допуска к сертификации специалиста в области здравоохранения лица, получившего медицинское образование за пределами Республики Казахстан», 2) приказ «Об утверждении правил оценки знаний и навыков обучающихся, оценки профессиональной подготовленности выпускников образовательных программ в области здравоохранения и специалистов в области здравоохранения».

Сертификат специалиста в области здравоохранения – документ, подтверждающий квалификацию физического лица и его готовность к профессиональной деятельности в области здравоохранения, включая готовность к клинической или фармацевтической практике, или деятельности в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения [15, п.2, пп.2, глава 1]. Сертификат действителен в течение 5 лет.

Сертификационный экзамен проводится Национальным центром независимой экзаменации (НЦНЭ) в 2 этапа: первый этап проводится в форме компьютерного тестирования, второй этап – на клинических станциях с использованием симуляционных технологий и информационных систем оценки. Целью первого этапа является оценка знаний, а второго – оценка навыков. В рамках тестирования испытуемый выполняет 100 тестовых заданий. Минимальное количество тестовых заданий, который должен выполнить участник экзамена для прохождения на второй тур – 60% от общего количества тестовых заданий.

Второй этап проводится на 5 клинических станциях. «Время выполнения задания на каждой станции составляет 10 минут. Общее время на выполнение второго этапа на пяти клинических станциях составляет 50 минут» [16, п.3.1.8, глава 3]. Для того, чтобы пройти 2 этап экзамена, испытуемому необходимо правильно выполнить минимально 90% заданий.

Общими положениями для двух вышеописанных сертификационных экзаменов являются, во-первых, наличие сильных регулирующих отраслевых документов в виде приказов, положений и инструкций. Во-вторых, оценка профессиональных навыков проводится в специально подготовленных местах, которые симулируют условия, имеющиеся в практике медицинских организаций. Т.е., создаются условия, приближенные к реальным, где они должны продемонстрировать свои профессиональные умения и навыки.

Рассмотрим опыт проведения квалификационных экзаменов для ИТ-специалистов в РФ. Согласно Федеральному Закону РФ «О независимой оценке квалификации» и Правил проведения центром оценки квалификаций независимой оценки квалификации в форме профессионального экзамена [17] проводится независимая оценка квалификации. Данный экзамен проводится центром оценки квалификации. Профессиональный экзамен проводится в двух случаях: по желанию соискателя либо по направлению работодателя. В первом случае участие на экзамене оплачивается самим соискателем, а втором – заказчиком, то есть работодателем. После прохождения экзамена результаты соискатель получает в течение 30 дней в виде свидетельства о квалификации (если экзамен сдан на положительную оценку) или справки о прохождении профессионального экзамена с рекомендациями для соискателя (если экзамен сдан на отрицательную оценку). Если соискатель не согласен с результатами экзамена, он может подать жалобу в письменном виде в апелляционную комиссию совета по профессиональным квалификациям. Сведения о полученных соискателями свидетельства о квалификации вносятся в реестр.

В одном варианте теста для проверки теоретических знаний соискателей – 40 тестовых задания. Из

них: тестовых заданий с выбором одного правильного ответа из множества предложенных – 30, открытой формы – 3, на установление соответствия – 5, на установление правильной последовательности – 2. Время тестирования – 90 минут. Если соискатель набирает от 30 и более балла, то он допускается до следующего этапа, где проверяются практические навыки. На втором этапе испытуемый выполняет 3 практических задания, которые направлены на проверку сформированности профессиональных навыков и умений, описанных в профстандарте. Всего нужно набрать не менее 11 баллов. Экзамен проводится на территории центра оценки квалификации или другом специально оборудованном помещении. Максимально на выполнение задания выделяется не более 5 астрономических часов. С примерами заданий можно ознакомиться на сайте Национального агентства развития квалификации РФ [18]. Формы тестовых заданий для теоретической части экзамена разработчики выбирают самостоятельно в зависимости от проверяемой квалификации. В рамках практической части экзамена используются задания на выполнение трудовых функций, описанных в профстандарте, в модельных или реальных условиях, в некоторых случаях и портфолио тоже.

Описанный квалификационный экзамен проводится с 2017 года, в открытых публикациях нет информации о количестве работников ИТ-сферы, подтвердивших уровень своей квалификации. Возможно, это является следствием добровольности участия в экзамене. Следует отметить, что как опубликованные регулирующие документы, так и содержание вопросов и заданий экзамена, приведенные в образцах, хорошо описаны и дают претендентам полную информации о мероприятии.

Теперь рассмотрим отечественный опыт во внедрении квалификационных экзаменов. В Республике Казахстан ситуация обстоит следующим образом: профессиональные стандарты по разным профессиям разработаны, многие уже утверждены, но сертификационный экзамен проводится только для педагогических работников. Выпускников педагогических вузов, не имеющие опыта работы участвуют в нем с 2021 года. Этот экзамен до 2023 года проводился в форме Национального квалификационного тестирования (НКТ). «Национальное квалификационное тестирование (далее – НКТ) – процедура, проводимая в целях определения уровня профессиональной компетентности педагога, по тестам, разработанным уполномоченным органом в области образования» [19, пп.12, п.2, глава 1]. НКТ проводится в соответствии с Правилами и условиями проведения аттестации педагогов, утвержденных приказом Министра образования и науки РК.

Формат экзамена: всего 100 тестовых заданий (70 тестовых заданий по направлению деятельности, 30 тестовых заданий – по педагогике и методике преподавания). Формы тестовых заданий: 80 с выбором одного правильного ответа из множества предложенных, 10 с выбором одного или нескольких правильных ответов из множества предложенных, 2 контекста с 10 тестовыми заданиями с выбором одного правильного ответа из множества предложенных. Для получения категории «педагог», испытуемый должен выполнить правильно 50% заданий по каждому блоку.

По преподаваемой дисциплине тестовые задания охватывают темы, очерченные в учебной программе по данному предмету. По педагогике и методике преподавания тестовые задания охватывают следующий круг вопросов: методика воспитания, процесс обучения, управление и организация учебного процесса, новые подходы в преподавании и обучении, обучение критическому мышлению, оценивание учебных достижений, обучение талантливых и одаренных детей, исследование практики.

Кандидаты без стажа, окончившие вуз по педагогическим специальностям, принимаются на работу после успешного прохождения НКТ. Для данных кандидатов без стажа квалификационная категория «педагог» присваивается аттестационной комиссией организации образования на основании результата НКТ [19, п.20, глава 2, параграф 1].

С 2023 года вместо НКТ проводится новый вид экзамена, «Оценка знаний педагогов (ОЗП) – процедура, проводимая в целях определения уровня профессиональной компетентности педагога, по тестам, разработанным уполномоченным органом в области образования в соответствии с настоящими Правилами» [20, глава 1, п.12]. Изменениям подверглись не только содержание заданий, но и формат и структура экзамена, способы подачи документов и т.д. По содержанию отличие данного экзамена от предыдущего состоит в том, что при проверке предметных знаний учителей будут использоваться задания в виде контекста, то есть текста. К тексту будут даны тестовые задания с выбором одного правильного ответа из множества предложенных. Также педагоги будут писать эссе. Помимо этого, добавлена квалификационная оценка, которая «проводится организациями образования и включает рассмотрение документов на соответствие перечню документов, изложенных в перечне основных требований к оказанию государственной услуги» [20, п.16, параграф 1]. «Документы аттестуемых

педагогов заполняются в информационной системе, по результатам которого выдается уведомление или расписка о приеме или отказе в приеме документов» [20, п.17, параграф 1]. Педагог, который проходит аттестацию, заполняет цифровой профиль. Экспертная комиссия проверяет документы. В случае, если портфолио педагога не соответствует требованиям, то он не проходит на следующий этап, то есть на тестирование. По итогам аттестации, в зависимости от стажа аттестуемого, в случае успешного прохождения всех ее этапов, педагог получает одну из квалификационных категорий «педагог», «педагог-мастер», «педагог-исследователь», «педагог-модератор», «педагог-эксперт».

Опыт участия выпускников бакалавриата педагогических ОП в год окончания вуза НКТ и ОЗП еще не обобщен, однако, в педагогической среде обсуждается вопрос о новых формах подготовки к квалификационным экзаменам. В связи с утверждением новой версии ПС «Педагог» в начале 2023 года, очевидно, что должны быть внесены изменения и в содержание ОЗП.

Выводы

В Казахстане система признания профессиональных квалификаций находится на стадии становления, регулирующий закон «О профессиональных квалификациях» еще не утвержден. Единственным экзаменом по допуску к рынку труда, в котором участвуют выпускники бакалавриата является «Оценка знаний педагогов». Выпускники педагогических вузов в нем участвуют с 2021 года. Для подготовки своих выпускников к квалификационному экзамену вузы проводят так называемые «обзорные лекции» по содержанию дисциплин, входящих в программу экзамена. Опыт показал, что такой метод подготовки не дает эффекта, результаты выпускников остаются низкими. Работодателями отрасли ИТ признание квалификаций не проводится ни в какой форме, по этой причине утвержденные ПС не прошли проверку практикой. Они используются вузами только как документы общей ориентации, содержащий квалификационные требования к выпускникам ОП направления подготовки 6В061 - Информационно-коммуникационные технологии. Тем не менее, в этой ситуации остается актуальной разработка модели оценки уровня сформированности профессиональных компетенций будущих ИТ-специалистов на стадиях формирования в вузе.

Международные признанные документы, такие как Computing Curricula, e-CF, SFIA являются хорошими примерами по формулированию требований работодателей отрасли ИТ к выпускникам вузов. Особенно их отличает соблюдение требований по свойству измеримости к описаниям всех компетенций ИТ-специалистов. Одной из серьезных недостатков содержания ПС отрасли ИТ Казахстана является отсутствие именно такого подхода при описании требований к профессиональным навыкам, предъявляемым к претендентам на занятие должности по ИТ-профессиям. При разработке инструментов для оценки уровня сформированности профессиональных навыков, готовности выпускников к выполнению трудовых функций по ИТ-профессиям, это является проблемой, для решения которой, очевидно придется провести дополнительное исследование.

Примером действующего квалификационного экзамена для ИТ-специалистов является независимая оценка квалификаций, проводимая в РФ. Для такого экзамена разработан пример оценочного средства, содержащий задания разной формы и все необходимые инструкции. Содержание названного экзамена может служить ориентиром при разработке модели и инструмента оценки уровня профессиональных навыков выпускников бакалавриата. Однако, есть особенности, именно отличие ситуации в РФ в том, что у них есть государственные образовательные стандарты всех специальностей вузов. В них содержатся в том числе перечень видов профессиональной деятельности будущих специалистов. Это облегчает процесс сопоставления содержаний ПС и ОП вузов. В Казахстане стандарты специальностей отменены, само понятие «специальность» также не используется. Содержание ОП вузы определяют самостоятельно, в дипломах выпускников указываются только академические степени.

Выбор ограниченного количества ПС для последующего сопоставления их содержания с содержанием ОП является не простой задачей, т.к. количество утвержденных стандартов отрасли ИТ – 25, каждый из них включает в себя описание нескольких профессий. Одна ОП не может охватывать содержание всех ПС, поэтому необходимо определиться с какими конкретными стандартами будет проводиться сопоставления содержания ОП. После этого можно составлять таблицы сопоставления требований к трудовым функциям конкретного ПС с перечнем дисциплин и тем ОП. В нашем исследовании выбраны ОП «Информационные системы» и «Вычислительная техника и программное обеспечение». Сопоставления описания требований ПС отрасли ИТ и содержания названных ОП является не простой работой в связи с тем, что эти документы разработаны не на единой методологической основе, хотя это и указывалось в задачах НРК.

Следующей задачей в рамках нашего проекта является формирование базы заданий, которая будет основным элементом инструмента оценки уровня профессиональной компетентности выпускников бакалавриата. Причем, инструмент будет использован для внутренней системы оценивания, цель при этом – дать возможность выпускникам оценить свой уровень готовности к выполнению конкретных трудовых функций. Задания будут разрабатываться для оценки уровня знаний и умений выпускников, необходимых для соответствующей профессии, это – предполагаемая первая часть оценки, вторая же часть, очевидно, должна состоять из заданий предназначенных для оценки профессиональных навыков, т.е. эти задания должны оценивать уровень владения навыками, нужных для конкретной трудовой функции профессии. Определение форм заданий для такой оценки также является отдельной задачей, требующей отдельного исследования. Доказательство валидности и надежности разрабатываемого инструмента оценки должно быть проведено с использованием современных методов психометрического анализа и педагогических измерений.

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК, грант №АР14871781, проект «Разработка модели оценивания профессиональных компетентностей на стадиях формирования в вузе (На примере образовательных программ направления подготовки ИКТ)».

Список использованной литературы:

- 1 Об утверждении Классификатора направлений подготовки кадров с высшим и послевузовским образованием. Приказ Министра образования и науки РК от 13 октября 2018 года № 569. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1800017565>
- 2 Досье на проект Закона РК «О профессиональных квалификациях» (июнь 2023 года). https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36924216
- 3 Реестр утвержденных профессиональных стандартов. Сайт НПП «Атамекен», раздел «Профессиональные стандарты и центры сертификации», адрес для скачивания - <https://atameken.kz/ru/services/16>
- 4 Олейникова О.Н, Муравьева А.А. Копенгагенский процесс. - М: Центр изучения проблем профессионального образования, 2006. - 132с.
- 5 Пальчук М.И. Взаимосвязь профессиональных квалификаций и программ профессионального образования и обучения в странах Европейского Союза // Отечественная и зарубежная педагогика. 2017. Т. 1, №1 (35).
- 6 Усовершенствование квалификаций: на пути к систематизации. // Европейский фонд образования, 2017. ISBN 978-92-9157-669-2, DOI 10.2816/159547.
- 7 Национальная рамка квалификаций – Казахстан. https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2021-10/kazakhstan_ru.pdf
- 8 Разработка образовательных программ на основе профессиональных стандартов и требований рынка труда: сборник трудов. – Алматы: Қазақ университеті, 2016. – 180 с.
- 9 Трудовой кодекс Республики Казахстан <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414>
- 10 Сухомлин В.А., Зубарева Е.В. Новый этап международной стандартизации ИТ-образования / DOI 10.25559/SITITO.17.202103.697-723 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2021. – Т.17, №3. – С. 697-723.
- 11 Волошина И.А., Зайцева О.М., Новиков П.Н., Перова И.Т., Прянишникова О.Д. Термины и понятия профессионально-квалификационной сферы: словарно-справочное пособие – М.: Издательство «Перо», 2021. 52 с.
- 12 Оценка универсальных компетентностей как результатов высшего образования. Аналитический доклад к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / С.М. Авдеева, П.В. Гасс, Е.Ю. Карданова и др. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. – М.: НИУ ВШЭ, 2021. – 52 с. – (Современная аналитика образования. № 3(52))
- 13 Как и зачем измерять профессиональные навыки? / П. С. Сорокин, В. А. Мальцева, П. В. Гасс; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. — М.: НИУ ВШЭ, 2021. — 64 с. (Современная аналитика образования. № 8 (57)).
- 14 Приказ Министерства здравоохранения РФ от 29.11.2012 г. № 982н «Об утверждении условий и порядок выдачи сертификата специалиста медицинским и фармацевтическим работникам, формы и технических требований сертификата специалиста» (в ред. Приказа МЗ РФ от 31.07.2013 N 515н) (зарегистрирован МЮ РФ 29.03.2013 г.)
- 15 Правила проведения сертификации специалиста в области здравоохранения, подтверждения действия сертификата специалиста в области здравоохранения, включая иностранных специалистов, а также условия

допуска к сертификации специалиста в области здравоохранения лица, получившего медицинское образование за пределами Республики Казахстан // Утверждены приказом министра здравоохранения РК от 15 декабря 2020г. КР ДСМ-274/2020

16 Руководство для кандидата при прохождении оценки профессиональной подготовленности специалистов в области здравоохранения // Утвержденная приказом №5 о/д Председателя РОО «Национальный центр независимой экзаменации» 19.01.2021

17 Правила проведения центром оценки квалификаций независимой оценки квалификации в форме профессионального экзамена // Утверждены Постановлением Правительства РФ №1204 от 16 ноября 2016 года

18 Национальное агентство развития квалификации РФ // <https://kos-nark.ru/demos>

19 Правила и условия проведения аттестации педагогов, занимающих должности в организациях образования, реализующих общеобразовательные учебные программы дошкольного воспитания и обучения, начального, основного среднего и общего среднего образования, образовательные программы технического и профессионального, послесреднего, дополнительного, специализированного и специального образования, и иных гражданских служащих в области образования и науки, утвержденных приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 27 января 2016 года №83 / <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600013317>

20 Правила и условия проведения аттестации педагогов / Утверждены приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 27 января 2016 № 83. Изменения внесены Приказом Министра просвещения РК от 30.12.2022 № 533 / <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600013317>

References:

1 Classifier RK (2018) *Ob utverzhdenii Klassifikatora napravlenij podgotovki kadrov s vysshim i poslevuzovskim obrazovaniem. Prikaz Ministra obrazovaniya i nauki RK ot 13.10.2018g. №569. [On approval of the Classifier of areas for training personnel with higher and postgraduate education. Order of the Minister of Education and Science of the Republic of Kazakhstan dated October 13, 2018 No. 569].* <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1800017565> (In Russian)

2 Draft Law RK (2023) *Dos'e na proekt Zakona RK «O professional'nyh kvalifikacijah» (ijun' 2023 goda) [Dossier on the Draft Law of the Republic of Kazakhstan “On Professional Qualifications” (June 2023)].* https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36924216 (In Russian)

3 Register PS RK (2022) *Reestr utverzhdenykh professional'nyh standartov. Sajt NPP «Atameken», razdel «Professional'nye standarty i centry sertifikacii», adres dlja skachivaniya [Register of approved professional standards. Website of NCE "Atameken", section "Professional standards and certification centers", download address] -* <https://atameken.kz/ru/services/16> (In Russian)

4 Olejnikova O.N, Myrav'eva A.A. (2006) *Kopengagenskij process. [Copenhagen Process] - M: Centr izycheniya problem professional'nogo obrazovaniya, 2006. - 132s. (In Russian)*

5 Pal'chuk M.I. (2017) *Vzaimosvjaz' professional'nyh kvalifikacij i programm professional'nogo obrazovaniya i obuchenija v stranah Evropejskogo Sojuza [Relationship between professional qualifications and vocational education and training programs in the countries of the European Union]// Otechestvennaja i zarubezhnaja pedagogika. 2017. T. 1, №1 (35). (In Russian)*

6 ETF (2017) *Uovershenstvovanie kvalifikacij: na puti k sistematizacii [Improving qualifications: on the way to systematization] // Evropejskij fond obrazovaniya, 2017. ISBN 978-92-9157-669-2, DOI 10.2816/159547. (In Russian)*

7 ETF (2021) *Nacional'naja ramka kvalifikacij – Kazahstan [National Qualifications Framework – Kazakhstan].* https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2021-10/kazakhstan_ru.pdf (In Russian)

8 Collection of works (2016) *Razrabotka obrazovatel'nyh programm na osnove professional'nyh standartov i trebovanij rynka truda: sbornik trudov [Development of educational programs based on professional standards and labor market requirements: collection of works]. – Almaty: Қазақ университети, 2016. – 180 s. (In Russian)*

9 Labor Code (2015) *Trudovoj kodeks Respubliki Kazahstan [Labor Code of the Republic of Kazakhstan].* <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414> (In Russian)

10 Suhomlin V.A., Zubareva E.V. (2021) *Novyj jetap mezhdunarodnoj standartizacii IT-obrazovaniya [A new stage in the international standardization of IT education] / DOI 10.25559/SITITO.17.202103.697-723 // Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2021. – T.17, №3. – S. 697-723. (In Russian)*

11 Voloshina I.A., Zajceva O.M., Novikov P.N., Perova I.T., Prjanishnikova O.D. (2021) *Terminy i ponjatija professional'no-kvalifikacionnoj sfery: slovarno-spravochnoe posobie [Terms and concepts of the professional qualification sphere: a dictionary and reference guide]– M.: Izdatel'stvo «Pero», 2021. – 52 s. (In Russian)*

12 S.M. Avdeeva, P.V. Gass, E.Ju. Kardanova (2021) *Ocenka universal'nyh kompetentnostej kak rezul'tatov vysshego obrazovaniya [Evaluation of universal competencies as outcomes of higher education]. Analiticheskij doklad k XXII Aprel'skoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii po problemam razvitija jekonomiki i obshhestva, Moskva, 13–30 apr. 2021 g. / S.M. Avdeeva, P.V. Gass, E.Ju. Kardanova i dr. Nacional'nyj issledovatel'skij universitet «Vysshaja shkola jekonomiki», Institut obrazovaniya. — M.: NIU VShJe, 2021. — 52 s. — (Sovremennaja analitika obrazovaniya. № 3(52)). (In Russian)*

13 Sorokin P.S., Mal'ceva V.A., Gass P.V. (2021). *Kak i zachem izmerjat' professional'nye navyki? [How and why to measure professional skills?]* / P.S. Sorokin, V.A. Mal'ceva, P.V. Gass; Nacional'nyj issledovatel'skij universitet

«Vysshaja shkola jekonomiki», Institut obrazovanija. M.: NIU VShJe, 2021. 64 s. (Sovremennaja analitika obrazovanija. № 8 (57)). (In Russian)

14 Order RF (2012) Prikaz Ministerstva zdravoohraneniya RF ot 29.11.2012 g. № 982n «Ob utverzhdenii uslovij i porjadok vydachi sertifikatov specialista medicinskim i farmacevticheskim rabotnikam, formy i tehničeskix trebovanij sertifikatov specialista» (v red. Prikaza MZ RF ot 31.07.2013 N 515n) (zaregistririvan MJu RF 29.03.2013 g) [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated November 29, 2012 No. 982n “On approval of the conditions and procedure for issuing a specialist certificate to medical and pharmaceutical workers, the form and technical requirements of a specialist certificate”] (In Russian)

15 Rules RK (2020) Pravila provedeniya sertifikacii specialista v oblasti zdravoohraneniya, podtverzhdenija dejstvija sertifikatov specialista v oblasti zdravoohraneniya, vključaja inostrannyh specialistov, a takže uslovija dopuska k sertifikacii specialista v oblasti zdravoohraneniya lica, polučivšego medicinskoe obrazovanie za predelami Respubliki Kazahstan [Rules for the certification of a healthcare specialist, confirmation of the validity of a certificate of a healthcare specialist, including foreign specialists, as well as the conditions for admission to certification of a healthcare specialist by a person who has received a medical education outside the Republic of Kazakhstan] // Utverzhdeny prikazom ministra zdravoohraneniya RK ot 15 dekabrya 2020g. KR DSM-274/2020 (In Russian)

16 Candidate Guidance RK (2021) Rukovodstvo dlja kandidata pri prohoždenii ocenki professional'noj podgotovlennosti specialistov v oblasti zdravoohraneniya [Candidate Guidance for Competency Assessments for Health Professionals] // Utverždennaja prikazom №5 o/d Predsedatelja ROO «Nacional'nyj centr nezavisimoj jekzamenacii» 19.01.2021 (In Russian)

17 Rules RF (2016) Pravila provedeniya centrom ocenki kvalifikacij nezavisimoj ocenki kvalifikacii v forme professional'nogo jekzamena [Rules for conducting an independent assessment by the Qualification Assessment Center qualifications in the form of a professional examination] // Utverzhdeny Postanovleniem Pravitel'stva RF №1204 ot 16 nojabrya 2016 goda (In Russian)

18 National Agency RF (2023) Nacional'noe agentstvo razvitija kvalifikacii RF [National Agency for the Development of Qualifications of the Russian Federation] // <https://kos-nark.ru/demos>

19 Rules and conditions RK(2016) Pravila i uslovija provedeniya attestacii pedagogov, zanimajushhix dolžnosti v organizacijah obrazovanija, realizujushhix obshheobrazovatel'nye uchebnye programmy doškol'nogo vospitanija i obuchenija, nachal'nogo, osnovnogo srednego i obshhego srednego obrazovanija, obrazovatel'nye programmy tehničeskogo i professional'nogo, poslesrednego, dopolnitel'nogo, specializirovannogo i special'nogo obrazovanija, i inyh graždanskih sluzhashhix v oblasti obrazovanija i nauki, utverždennyh prikazom Ministra obrazovanija i nauki Respubliki Kazahstan ot 27 janvarja 2016 goda №83 [Rules and conditions for certification of teachers holding positions in educational organizations that implement general education curricula for preschool education and training, primary, basic secondary and general secondary education, educational programs for technical and vocational, post-secondary, additional, specialized and special education, and other civil employees in the field of education and science] / <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600013317> (In Russian)

20 Rules and conditions RK (2022) Pravila i uslovija provedeniya attestacii pedagogov [Rules and conditions for certification of teachers] / Utverzhdeny prikazom Ministra obrazovanija i nauki Respubliki Kazahstan ot 27 janvarja 2016 № 83. Izmeneniya vneseny Prikazom Ministra prosveshhenija RK ot 30.12.2022 № 533 / <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600013317> (In Russian)

А.М. Айтымова^{1*}, Г.М. Абильдинова², Ж.С. Кажиақпарова,³ А.Е. Карымсакова²

¹ НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»,
г. Петропавловск, Казахстан

² Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

³ Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан
*e-mail: aitimova_a_1985@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ДОШКОЛЬНИКОВ

Аннотация

В настоящее время цифровые технологии играют все большую роль в нашей жизни, поэтому формирование цифровой компетентности становится важным заданием для образования. Данное исследование было посвящено изучению формирования цифровой компетентности в дошкольном возрасте. В рамках него была исследована модель информационной компетентности, а также проведен анализ данных, связанных с формированием цифровой компетентности в дошкольной организации. Результаты исследования показали, что формирование цифровой компетентности у детей в дошкольном возрасте имеет положительное влияние. Дети, которые имели опыт работы с цифровыми технологиями и обладали соответствующими навыками, имеют более высокий уровень когнитивных и социально-эмоциональных навыков, чем те, кто не имел такого опыта.

Ключевые слова: дошкольное обучение, цифровая компетентность, цифровые технологии, модель информационной компетентности, навыки.

Аңдатпа

А.М.Айтымова¹, Г.М.Абильдинова², Ж.С.Кажиақпарова³ А.Е. Карымсакова.²

¹«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы,
Петропавл қ., Қазақстан

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

³ Батыс-Қазақстан инновациялық - технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан

МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРДЫҢ ЦИФРЛЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Қазіргі уақытта цифрлық технологиялар біздің өмірімізде барған сайын маңызды рөл атқаруда, сондықтан цифрлық құзыреттілікті қалыптастыру білім берудің маңызды міндетіне айналууда. Бұл зерттеу мектепке дейінгі жастағы цифрлық құзыреттілікті қалыптастыруды зерттеуге арналды. Оның аясында ақпараттық құзыреттілік моделі зерттеліп, мектепке дейінгі ұйымда цифрлық құзыреттілікті қалыптастыруға қатысты деректерге талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері мектепке дейінгі жастағы балалардың цифрлық құзыреттілігін қалыптастыру оң әсер ететінін көрсетті. Сандық тәжірибесі мен дағдылары бар балалардың танымдық және әлеуметтік-эмоционалдық дағдылары жоқ адамдарға қарағанда жоғарырақ болады.

Түйін сөздер: мектепке дейінгі оқыту, цифрлық құзыреттілік, цифрлық технологиялар, ақпараттық құзыреттілік моделі, дағдылар.

Abstract

THE FORMATION OF DIGITAL COMPETENCE OF PRESCHOOLERS

Aitymova A. M.,¹ Abildinova G. M.,² Kazhiakparova Z. S.,³ Karymsakova A. E.²

¹ Non-profit limited company «Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Petropavlovsk, Kazakhstan.

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

³ West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

Currently, digital technologies are playing an increasingly important role in our lives, so the formation of digital competence is becoming an important task for education. This study was devoted to studying the formation of digital competence in preschool age. As part of it, a model of information competence was investigated, and an analysis of data related to the formation of digital competence in a preschool organization was carried out. The results of the study showed that the formation of digital competence in children at preschool age has a positive impact. Children who have had digital experience and skills have higher levels of cognitive and social-emotional skills than those who have not.

Keywords: preschool education, digital competence, digital technologies, model of information competence, skills.

Введение

Один из ключевых аспектов образования в цифровой эпохе – это формирование цифровой компетентности у детей уже в дошкольном возрасте. Цифровая компетентность включает в себя знания и умения, необходимые для использования цифровых технологий в различных сферах жизни.

Сегодняшние дети растут в среде, где цифровые технологии присутствуют повсюду, и поэтому формирование цифровой компетентности в детстве является важной задачей. В то же время, все еще не совсем ясно, как именно формирование цифровой компетентности в дошкольном возрасте влияет на успешность обучения в дальнейшем. Основной проблемой является тот факт, что цифровые технологии становятся все более распространенными и важными в современном мире. Формирование цифровой компетентности в раннем возрасте может оказать значительное влияние на успешность обучения и в дальнейшей жизни. Таким образом, определение важности формирования цифровой компетентности в дошкольном возрасте и изучение его влияния на образовательный процесс является актуальной.

Цель данной статьи – исследовать влияние формирования цифровой компетентности дошкольников в дошкольных организациях. В рамках статьи проведен анализ данных, связанных с формированием цифровой компетентности в дошкольной организации. Результаты исследования помогут определить, насколько важно формирование цифровой компетентности в дошкольном возрасте и как это может повлиять на успешность воспитательно-образовательного процесса.

На формирование цифровой компетентности в дошкольном возрасте и его возможные последствия можно посмотреть с разных сторон.

Значение цифровой компетентности в дошкольном возрасте:

- Развитие цифровых навыков и компетентности начинается с самого раннего возраста. В современном информационном обществе владение цифровыми технологиями становится все более важным.

- Цифровая компетентность включает в себя не только умение пользоваться компьютерами и устройствами, но и критическое мышление, умение находить и анализировать информацию, творческое решение проблем и другие навыки, необходимые для успешной адаптации в современном мире.

В дошкольном возрасте формируются основы логического мышления, речи и когнитивных навыков, которые могут быть поддержаны и развиты с помощью цифровых технологий.

Потенциальные последствия формирования цифровой компетентности в дошкольном возрасте:

- Раннее овладение цифровыми навыками может стимулировать развитие интеллектуальных способностей ребенка.

- Цифровые технологии могут быть использованы для индивидуального обучения и поддержки развития конкретных навыков у каждого ребенка.

- Осознанное и безопасное использование цифровых технологий может помочь в профилактике проблем, связанных с интернетом и социальными сетями.

Согласно результатам исследований, проведенных в последние годы, формирование цифровой компетентности у детей в дошкольном возрасте может оказать положительное влияние на их взаимодействие с цифровой средой. Например, в исследовании, проведенном Швейцарским федеральным институтом технологий в 2020 году, было выяснено, что дети, у которых в дошкольном возрасте была развита цифровая компетентность, проявляют более высокий уровень развития и способностей [1]. Также, исследование, проведенное Национальным институтом образования в США в 2019 году, показало, что введение цифровых технологий в дошкольные организации может способствовать развитию критического мышления и творческих способностей у детей [2].

Эти исследования также показывают, что введение цифровых технологий в дошкольное образование может способствовать развитию критического мышления, творческих способностей, а также научить детей основам информатики и программирования. Однако, несмотря на эти положительные результаты, некоторые исследователи высказывают опасения по поводу увеличения времени, которое дети проводят за экранами, и потенциальных негативных последствий для здоровья и развития (Plowman & McPake, 2013) [3].

Одно из исследований указывает на то, что взаимодействие с персональными цифровыми устройствами, такими как планшеты и смартфоны, способствует более частому проявлению просоциального поведения детей по сравнению с антисоциальным [4]. Исследователи из развитых

стран с широким использованием цифровых технологий, включая скандинавские страны, отмечают, что педагоги активно используют персональные цифровые устройства в процессе обучения [5].

Термины «цифровая компетенция» и «цифровая компетентность» до сих пор исследуется, и исследователи вкладывают в них различные смыслы и значения, связанные с существованием личности в цифровом обществе. Исследования, посвященные данному феномену, раскрываются в трудах Г.У. Солдатовой, Е.Ю. Зотовой, М.Лебешева, В. Шляпникова, Т.А. Нествик, Е.И. Рассказовой, О.В. Калимуллиной, И.В. Троценко, Г.А. Афанасьевой, А.А. Зябкова и др. Овладение цифровой компетенцией является основой для успешного взаимодействия с цифровыми технологиями. В общем виде, цифровые компетенции можно описать как набор знаний и умений, необходимых для использования цифровых технологий в деятельности [6].

Цифровая компетенция дошкольников – это способность и умение эффективно использовать цифровые технологии, такие как компьютеры, планшеты, смартфоны и интернет.

Общеучебные умения у дошкольников – это универсальные в организованной деятельности способы получения, организации и применения знаний. При этом владение общеучебными умениями позволяет самостоятельно выполнить операции и действия по реализации полученных знаний в различных условиях, обладает свойством переносимости на разные предметы и действия, характеризуется деятельным характером, подразумевающим необходимость овладения различными способами деятельности и знаниями о них. Для этого педагогу дошкольной организации необходимо в своей работе с детьми дошкольного возраста придерживаться классификации общеучебных умений.

Существуют различные классификации общеучебных умений.

Традиционно их принято делить на:

- 1) учебно-организационные умения (приучать детей дошкольного возраста к организации самостоятельной познавательной, в том числе - учебной деятельности);
- 2) учебно-информационные умения (работа с различными источниками информации, рассказывание по картине с близким детскому опыту сюжетом, описание игрушек);
- 3) учебно-коммуникативные умения (культура устной и письменной речи);
- 4) творческие умения (рисование, конструирование, лепка, выполняя действия с игрушками, сюжетно-ролевые игры).

Под учебно-организационными понимаются умения: педагог устанавливает адекватную задачу в соответствии с ситуацией в процессе организованной деятельности; педагогом составляется рациональный план работы для достижения поставленной задачи с учетом индивидуальных особенностей детей дошкольного возраста и имеющихся условий; педагог дошкольной организации определяет количество времени, которое будет затрачено на работу; оценивает возможности детей дошкольного возраста и рационально распределяет их для получения необходимого результата работы с детьми для формирования учебно-организационных умений; педагог намечает и проводит отбор средств и способов, необходимых для достижения поставленных задач и т.д.

К учебно-информационным относятся умения:

- 1) педагог в воспитательно-образовательном процессе должен формировать у детей дошкольного возраста самостоятельность, анализ, синтез, отбор, организованность,
- 2) критически подходить к информации, определять важность и ценность информации, достоверность и убедительность фактов;
- 3) рационально запоминать информацию;
- 4) синтезировать данные нескольких источников, обобщать и систематизировать полученную информацию;
- 5) выделять главное, делать выводы;
- 6) сравнивать, сопоставлять, классифицировать факты по определенному признаку и т.д.

К учебно-коммуникативным умениям относятся:

- 1) взаимодействовать с другими людьми, с объектами окружающего мира и его информационными потоками;
- 2) выполнять различные социальные роли в группе и коллективе, использовать современные телекоммуникационные технологии под присмотром педагога или родителя;

К творческим относятся следующие умения:

- 1) ребенок дошкольного возраста может совместно с педагогом и родителями воспроизводить оригинальные идеи, отличающиеся от общепризнанных, мысленно экспериментировать, изобретать что-то новое; воображать, создавать неожиданные ассоциации;

2) дети старшего дошкольного возраста могут самостоятельно переносить знания, навыки и умения в новую ситуацию, комбинировать и преобразовывать ранее известные способы решения задачи;

3) дети старшего дошкольного возраста могут организовывать и принимать участие в совместном творчестве.

Следует принимать во внимание следующее: природа компетентности такова, что она хотя и является продуктом обучения, но прямо не вытекает из него, а является следствием саморазвития индивида, его не столько технологического, сколько личностного роста, целостной самоорганизации и синтеза своего деятельностного и личностного опыта.

Формирование цифровых компетенции означает развитие навыков, знаний и умений, необходимых для работы и успешной деятельности в области информационных технологий.

Наш мир стремительно изменяющийся, невероятно технологичный, а процесс цифровизации устойчиво входит абсолютно во все сферы нашей жизни.

Изменения, происходящие в мире, коренным образом коснулись и системы образования, в связи с чем в последнее десятилетие были внесены существенные коррективы в содержание образовательного процесса, в формы и методы реализации образовательных событий. Наряду с этим весьма логично звучит тезис о необходимости формирования соответствующего набора цифровых компетенций у действующих педагогов, а также усовершенствование процессов подготовки педагогических кадров в направлении цифровизации. Все эти моменты коснулись и педагогов, реализующих образовательные программы дошкольного образования.

Технологии дистанционного обучения наряду с другими образовательными организациями также наблюдаются значительные перемены в направлении цифровизации, которые, безусловно, внесли существенные изменения во все процессы, протекающие в организации. В целях реализации современного образовательного процесса для дошкольных образовательных организаций разрабатываются цифровые образовательные ресурсы, электронные средства обучения, инновационные технические средства, которые требуют от педагога соответствующих навыков для их результативного применения в работе с детьми, соответствующих знаний, умений, технической подкованности, а также способностей применять современные цифровые решения с нацеленностью на достижение высокого образовательного результата и на достижение целевых ориентиров, представленных в нормативных документах.

Важно также отметить, что формирование цифровой компетенции является непрерывным процессом. Технологии и требования в IT-сфере постоянно меняются, поэтому важно оставаться гибким и готовым к обучению и адаптации.

С.Е. Шукшина отмечает, что развитие цифровых компетенций является неотъемлемой частью общего и естественно-научного развития современных дошкольников. Она считает, что благодаря соответствующей работе педагогов и воспитателей можно достичь различных положительных эффектов, включая формирование цифровой грамотности, адаптацию образовательной деятельности к изменениям, связанным с цифровизацией и компьютеризацией, развитие творческого потенциала и способности к ответственному обращению с электронными устройствами [7].

С.В. Еманова отмечает, что развитие цифровых компетенций в дошкольном возрасте готовит детей к информационной среде. Это включает готовность адаптации в интернет социальном пространстве, онлайн среде взаимодействия и формирования цифровой культуры в дальнейшем [8].

В монографии Т.В. Калининой, посвященной работе с дошкольниками для формирования информационной культуры, утверждается, что каждая из представленных компетенций не может быть полностью развита у детей дошкольного возраста. Она считает, что это работает лучше с более старшими дошкольниками и школьниками. Например, коммуникация в цифровой среде может быть развита у детей даже в возрасте 5-6 лет, но управление информацией в цифровых источниках представляет собой сложность. Дети могут использовать онлайн ресурсы и изучать их, но исследование и анализ часто вызывают трудности [9].

Однако, эти ограничения не означают, что развитие цифровых компетенций в дошкольном возрасте невозможно. Каждая из представленных компетенций может быть сформирована хотя бы на базовом уровне. Для достижения этой цели, педагогам и воспитателям дошкольных организаций необходимо решать сложные задачи. Они должны использовать образовательные и воспитательные модели, соответствующие принципам цифровизации и информатизации.

А.А. Потапов, исследуя формирование технологической компетенции детей в цифровой среде, делает важные выводы. Он указывает на связь образования с цифровыми компьютерными

технологиями, которые предоставляют новые возможности для развития личности. Это показывает, что современные дошкольные организации нуждаются в компьютеризации и цифровизации, чтобы развитие цифровых компетенций у детей дошкольного возраста было проще и удобнее [10].

Г.В. Садыкова отмечает, что цифровая грамотность и развитие цифровых компетенций являются важными для детей и педагогов. Неподготовленные специалисты не смогут помочь детям приобрести необходимые навыки по данной теме. Поэтому успешная работа в области воспитания и образования дошкольников в цифровом плане требует наличия современных технических средств и компьютерной грамотности педагогов и воспитателей [11].

Для развития цифровых компетенций дошкольников предлагается несколько подходов, такие как занятия с компьютерной поддержкой и занятия с мультимедийным сопровождением. Компьютерная поддержка включает использование обучающих программ, в том числе игровых, а также диагностических игр. Мультимедийная поддержка предполагает представление занятий в формате презентации, что делает их более наглядными и интересными для детей.

В соответствии с А.А. Потаповым, С.Е. Шукшина подчеркивает важность следующих аспектов в дошкольном образовании [12]:

- обеспечение необходимого оборудования (компьютеры, планшеты, проекторы, колонки и др.) для развития цифровых компетенций дошкольников;
- охрана здоровья. Деятельность с детьми должна быть организована таким образом, чтобы не наносить вред их здоровью. Режим деятельности должен соответствовать возрасту детей и санитарным правилам.

По словам Н.А. Муртазиной, Г.В. Садыковой и С.Е. Шукшиной, развитие цифровых компетенций детей в дошкольном возрасте приводит к развитию следующих компонентов цифровой компетентности [13]:

- знания в различных областях использования цифровых устройств;
- использование гаджетов для достижения не только развлекательных целей;
- осознание рисков, связанных с недостоверными и потенциально опасными онлайн-ресурсами;
- понимание работы интернета.

Необходимые навыки для детей включают:

- использование цифровых технологий;
- саморазвитие, поиск информации в сети, творчество;
- цифровую коммуникацию.

Мотивы развития цифровых компетенций включают:

- обучение с использованием цифровых инструментов;
- применение знаний и навыков для достижения различных целей.

Современные исследователи также отмечают, что формирование цифровой компетентности в дошкольном возрасте помогает детям понять условные правила использования устройств и развить желание их соблюдать. Таким образом, развитие цифровых компетенций в дошкольном возрасте является необходимостью, о чем говорят множество исследователей.

Целенаправленная работа по развитию цифровых компетенций в дошкольных организациях исключает:

- безответственное отношение к цифровым устройствам и правилам их использования;
- непонимание роли технологий в современном обществе в различных сферах;
- недостаточные навыки использования цифровых устройств для прагматических целей.

Материалы и основные методы

Для решения поставленных задач нами было проведено исследование, целью которого являлось: исследовать влияние формирования цифровой компетентности в дошкольном возрасте на способствовать развития критического мышления, творческих способностей, где были использованы следующие методы: длительное наблюдение, изучение психолого-педагогической литературы по теме исследования, измерения уровня цифровой компетентности и успеваемость в течение всего периода эксперимента. В экспериментальной работе было задействовано 14 дошкольных организаций, 620 детей 5-6 летнего возраста, 60 педагогов дошкольной организации, 4 заведующих дошкольной организации, 4 методиста.

Были созданы контрольная и экспериментальная группы. В контрольной группе 310 детей 5-6 летнего возраста, 30 педагогов дошкольной организации, 2 заведующих, 2 методиста.

В экспериментальной группе 310 детей 5–6-летнего возраста, 30 педагогов дошкольной организации, 2 заведующих, 2 методиста.

Для подтверждения выдвинутой нами гипотезы исследования проводим анализ мониторинга в дошкольной организации. Анализируя мониторинг и учитывая особенности детей 5–6-летнего возраста, было проведено экспериментальное исследование в дошкольных организациях. Эксперимент проводился в 3 этапа. На данный момент полноценно реализованы 2 этапа. *Первый этап – констатирующий.* Его цель, во-первых, провести анкетирование педагогов дошкольной организации, заведующих и методистов по проведению мониторинга в дошкольной организации. Необходимо определить их отношение к проблеме организации воспитательно-образовательного процесса на основе компетентного подхода в контексте испытываемых затруднений и путей решения исследуемой проблемы. *Второй этап – формирующий.* Цель – внедрить модель управления информационными процессами в информационно-образовательной среде для организаций дошкольного образования в воспитательно-образовательный процесс в экспериментальной группе. *Третий этап – контрольный.* Его цель – исследовать итоговое состояние критериев эффективности в контрольных и экспериментальных группах через анкетирование педагогов дошкольной организации, методистов и заведующих. Стоит отметить, что эксперимент может зависеть от многих факторов, включая доступные ресурсы и время.

Результаты и обсуждения

Реализация педагогического процесса возможна при наличии необходимой предметно-пространственной развивающей среды дошкольной организации.

На формирующем этапе эксперимента был проведен анализ информационных процессов, необходимых для мониторинга сформированности навыков у дошкольников, а также разработана структура представления данных в информационно-образовательной среде. Мониторинг сформированности навыков у дошкольников по результатам анализа имеет ряд проблем, связанных с хранением, использованием и управлением данными, на основании этого разработана схема хранения данных уровней сформированности навыков у дошкольников с использованием базы данных, а также запросы для управления данными, включая хранение и извлечение данных. Педагоги дошкольной организации приняли активное участие в данном экспериментальном исследовании, показали все проблемы, связанные с мониторингом в организациях дошкольного образования. В процессе анализа данных проблем стало очевидным, что нужна схема управления данными для информационно-образовательной среды для организаций дошкольного образования, позволяющая определять результаты воспитательно-образовательного процесса и корректировать индивидуальную работу с детьми 5–6-летнего возраста.

Оценка сформированности навыков определяется с использованием 211 индикаторов [14]. Разработана структура представления данных в информационно-образовательной среде, которая дала возможность организовать данные таким образом, чтобы они могли быть эффективно использованы и обработаны. Структура представления данных в информационно-образовательной среде отражена на рисунке 1 и содержит 8 категорий данных, каждая из которых имеет свой функциональный набор задач. Данные задачи взаимосвязаны между собой в определенной последовательности. Все категории направлены на достижение одной цели – качественному проведению мониторинга по отслеживанию уровня достижения детьми и педагогом ожидаемых результатов, определенных в содержании Типовой учебной программы дошкольного воспитания и обучения.

Данная схема обеспечивает удобный доступ к информации о воспитательно-образовательном процессе и состоянии сформированности навыков у дошкольников. Это позволяет педагогам дошкольной организации получать необходимую информацию для корректировки своей работы, а также родителям и законным представителям получать информацию о ходе воспитательно-образовательного процесса своих детей.

Заключение

Работа по данному направлению еще полностью не завершена, ведется исследование по данному вопросу, также планируется в ближайшее время получить результаты последнего этапа эксперимента. На данный момент можно сделать следующие выводы, что исследование подтверждает, что формирование цифровой компетентности в дошкольном возрасте положительно влияет на формирование и развитие критического мышления, творческих способностей.

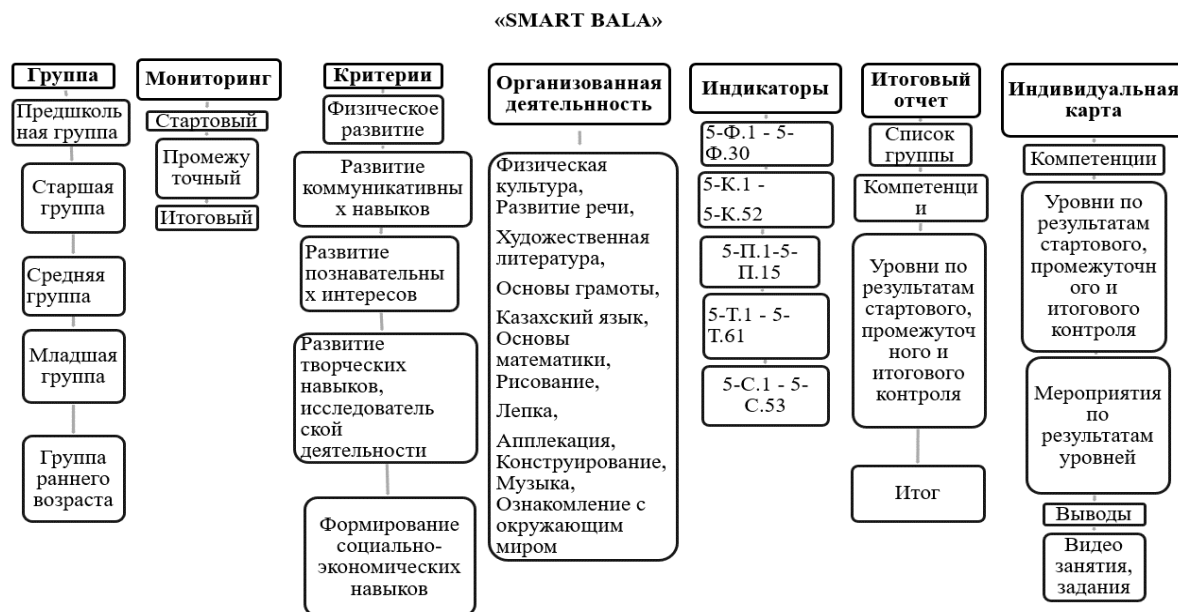


Рисунок 1. Структура представления данных в информационно-образовательной среде

Дети, которые имели опыт работы с цифровыми технологиями и обладали соответствующими навыками, имели более высокий уровень когнитивных и социально-эмоциональных навыков, чем те, кто не имел такого опыта. Таким образом, цифровая компетентность является важным элементом современной образовательной системы, которая должна учитывать не только традиционные учебные предметы, но и цифровые технологии. Раннее формирование цифровой компетентности может дать детям преимущество в обучении и успешном старте в жизни.

Благодарность. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН АР15473432 «Формирование цифровой компетентности детей 5-6-летнего возраста в дошкольной организации»), руководитель А.М. Айтымова.

Список использованной литературы:

- 1 Калабина И.А., Прогацкая Т.К. Формирование цифровой компетентности детей старшего дошкольного возраста. // Современное дошкольное образование. 2022. No2(110). С. 58–69. <https://doi.org/10.24412/1997-9657-2022-2110-58-69>
- 2 Ilomäki, L., Paavola, S., Lakkala, M., & Kantosalo, A. Digital competence – an emergent boundary concept for policy and educational research. *Education and Information Technology*, 2016. V.21(3). p.655–679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>
- 3 Plowman, L., & McPake, J. Seven myths about young children and technology. *Childhood Education*, 2013. V.89(1). p.27-33. <https://www.researchgate.net/publication/285271406> Seven Myths About Young Children and Technology
- 4 Ralph, R. & Petrina, S. Social learning with mobile devices in preschool classrooms. *European Journal of STEM Education*, 2018. V.3(3). p.12. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3872> DOI: <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3872>
- 5 Otterborn, A., Schönborn, K., Hultén, M. Surveying preschool teachers' use of digital tablets: general and technology education related findings. *Int J Technol Des Educ*, 2019. V. 29. p. 717–737. DOI: 10.1007/s10798-018-9469-9
- 6 Солдатова, Г.У. Психологические модели цифровой компетентности российских подростков и родителей // Национальный психологический журнал, 2014, № 2 (14), с. 27-35.
- 7 Еманова С.В. Дополнительное образование в детском саду: учебное пособие / С.В. Еманова. – Курган: Курганский государственный университет, 2018. – 120 с.
- 8 Калинина Т.В. Содержание и методы формирования основ информационной культуры у старших дошкольников: монография / Т.В. Калинина, Ю.А. Дмитриев. – Москва: Московский педагогический государственный университет, 2019. – 139 с.
- 9 Муртазина Н.А. Актуальные проблемы дошкольного и начального математического образования и информатики: монография / Н.А. Муртазина, Н.П. Ходакова, С.Е. Шукишина. – Ульяновск: Зебра, 2019. – 111 с.

10 Абанкина И.В. От универсальной доступности к современному качеству: дошкольное образование в России / И.В. Абанкина, А.А. Бочавер, А.А. Вавилова и др. Москва: издательство Высшей школы экономики, 2019. – 341 с.

11 Потапов А.А. Формирование технологической компетентности детей в новой цифровой среде: монография / А.А. Потапов, Т.Н. Петрова, Т.В. Корниенко. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2021. – 199 с.

12 Садыкова, Г.В. Билингвизм в эпоху цифровых технологий / Г.В. Садыкова. – Казань: Казанский федеральный университет, 2021. – 167 с.

13 Шукишина С.Е. Теоретические и методические аспекты естественно-научного образования детей 5-11 лет в условиях развития информационного общества: монография / С.Е. Шукишина, Н.П. Ходакова, Н.А. Муртазина. – Ульяновска: Зебра, 2020. – 115 с.

14 Методические рекомендации для проведения мониторинга по усвоению содержания Типовой учебной программы дошкольного воспитания и обучения, – Астана, 2023 - 58 л.

References:

1. Kalabina I.A., Progakaja T.K. (2022) Formirovanie cifrovoj kompetentnosti detej starshego doshkol'nogo vozrasta [Formation of digital competence of older preschool children]./ *Sovremennoe doshkol'noe obrazovanie*. №2(110), 58–69. (In Russian) <https://doi.org/10.24412/1997-9657-2022-2110-58-69>.

2. Ilomäki, L., Paavola, S., Lakkala, M., & Kantosalo, A. (2016). Digital competence – an emergent boundary concept for policy and educational research. *Education and Information Technologies*, 21(3), 655–679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>

3. Plowman, L., & McPake, J. (2013). Seven myths about young children and technology. *Childhood Education*, 89(1), 27-33.

https://www.researchgate.net/publication/285271406_Seven_Myths_About_Young_Children_and_Technology.

4. Ralph, R. & Petrina, S. (2018). Social learning with mobile devices in preschool classrooms. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 12. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3872> DOI: <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3872>.

5. Otterborn, A., Schönborn, K., Hultén, M. (2019). Surveying preschool teachers' use of digital tablets: general and technology education related findings. *Int J Technol Des Educ*, 29, 717–737. DOI: 10.1007/s10798-018-9469-9.

6. Soldatova G.U. (2014) Psihologicheskie modeli cifrovoj kompetentnosti rossijskih podrostkov i roditelej [Psychological models of digital competence of Russian teenagers and parents]. *Nacional'nyj psihologicheskij zhurnal*, № 2 (14), 27-35. (In Russian)

7. Emanova S.V. (2018) *Dopolnitel'noe obrazovanie v detskom sadu: uchebnoe posobie [Additional education in kindergarten: a textbook]*. Kurgan: Kurganskij gosudarstvennyj universitet. 120. (In Russian)

8. Kalinina T.V. (2019) *Soderzhanie i metody formirovaniya osnov informacionnoj kul'tury u starshih doshkol'nikov: monografija [The content and methods of forming the foundations of information culture in older preschoolers: monograph]* Moskva: Moskovskij pedagogicheskij gosudarstvennyj universitet. 139. (In Russian)

9. Murtaзина N.A. (2019) *Aktual'nye problemy doshkol'nogo i nachal'nogo matematicheskogo obrazovaniya i informatiki: monografija [Actual problems of preschool and primary mathematical education and computer science: monograph]*. U l'janovsk: Zebra. 111. (In Russian)

10. Абанкина И.В. (2019) *От универсальной доступности к современному качеству: дошкольное образование в России [From universal accessibility to modern quality: preschool education in Russia]*. Москва: издательство Высшей школы экономики. 341. (In Russian)

11. Potapov A.A. (2021) *Formirovanie tehnologicheskoy kompetentnosti detej v novoj cifrovoj srede: monografija [Formation of technological competence of children in the new digital environment: monograph]*. Joshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj universitet. 199. (In Russian)

12. Sadykova G.V. (2021) *Bilingvizm v jepohu cifrovyh tehnologij [Bilingualism in the digital age]*. Kazan': Kazanskij federal'nyj universitet. 167. (In Russian)

13. Shukshina S.E. (2020) *Teoreticheskie i metodicheskie aspekty estestvenno-nauchnogo obrazovaniya detej 5-11 let v uslovijah razvitiya informacionnogo obshhestva: monografija [Theoretical and methodological aspects of natural science education for children aged 5-11 years in the context of the development of the information society: monograph]*. U l'janovska: Zebra. 115. (In Russian)

14. *Metodicheskie rekomendacii dlya provedeniyu monitoringa po usvoeniyu sodержaniya Tipovoj uchebnoj programmy doshkol'nogo vospitaniya i obucheniya, Astana, 2023. 58. (In Russian)*

Б.С. Ахметов¹, Н.Т. Ошанова^{1*}, Б.Б. Ахметов²

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

²Каспийский университет технологий и инжиниринга им.Ш. Есенова, г.Актау, Казахстан

*e-mail: n.oshanova@abaiuniversity.edu.kz

ЦИФРОВАЯ АНАЛИТИКА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

В статье исследуется мировой и отечественный опыт влияния цифровой аналитики на качество высшего образования. Важность и релевантность планируемых исследований заключаются в их потенциале для повышения качества высшего образования и адаптации к современным вызовам. Использование цифровой аналитики в образовании позволяет выявить важные факторы, влияющие на успехи студентов, эффективность образовательных программ и процессов обучения. Одним из ключевых вызовов, стоящих перед высшим образованием, является обработка и анализ больших объемов данных, генерируемых в высших учебных заведениях. Информация о студентах, учебных программах, преподавателях и процессах обучения непрерывно накапливается в системах управления образованием. Анализ этих данных с использованием цифровой аналитики позволяет выявить паттерны, тренды и важные факторы, влияющие на качество образования. Однако требуется разработка и применение инновационных методов и инструментов для эффективной обработки и анализа такого объема информации.

Ключевые слова: высшее образование; качество; факторы; мониторинг; цифровизация; цифровая аналитика.

Аңдатпа

ЦИФРЛЫҚ АНАЛИТИКА ЖОҒАРЫ БІЛІМ САПАСЫН АРТТЫРУДЫҢ ФАКТОР РЕТІНДЕ

Б.С. Ахметов¹, Н.Т. Ошанова¹, Б.Б. Ахметов²

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

² Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті, Ақтау қ., Қазақстан

Мақалада цифрлық аналитиканың жоғары білім сапасына әсер етуінің әлемдік және отандық тәжірибесі қарастырылған. Жоспарланған зерттеулердің маңыздылығы мен өзектілігі оның жоғары білім сапасын арттыру және заманауи талаптарға бейімделу әлеуетінде жатыр. Білім беруде цифрлық аналитиканы қолдану студенттердің жетістіктеріне, білім беру бағдарламалары мен оқу үдерістерінің тиімділігіне әсер ететін маңызды факторларды анықтауға мүмкіндік береді. Жоғары оқу орындарының алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі – жоғары оқу орындарында қалыптасатын үлкен көлемдегі мәліметтерді өңдеу және талдау. Білім беруді басқару жүйесінде студенттер, оқу жоспарлары, мұғалімдер және оқу үдерістері туралы ақпарат үздіксіз жинақталады. Бұл деректерді цифрлық аналитика арқылы талдау білім сапасына әсер ететін заңдылықтарды, тенденцияларды және маңызды факторларды анықтауға мүмкіндік береді. Дегенмен, мұндай көлемдегі ақпаратты тиімді өңдеу және талдау үшін инновациялық әдістер мен құралдарды әзірлеу және қолдану қажет.

Түйін сөздер: жоғарғы білім; сапа; факторлар; мониторинг; цифрландыру; цифрлық аналитика.

Abstract

DIGITAL ANALYTICS AS A FACTOR IMPROVING THE QUALITY OF HIGHER EDUCATION

Akhmetov B.S.¹, Oshanova N.T.¹, Akhmetov B.B.²

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenov, Aktau, Kazakhstan

The article examines the global and domestic experience of the impact of digital analytics on the quality of higher education. The importance and relevance of the planned research lies in its potential to improve the quality of higher education and adapt to modern challenges. The use of digital analytics in education makes it possible to identify important factors influencing student success, the effectiveness of educational programs and learning processes. One of the key challenges facing higher education is the processing and analysis of large amounts of data generated in higher education institutions. Information about students, curricula, teachers and learning processes is continuously accumulated in education management systems. The analysis of this data using digital analytics makes it possible to identify patterns, trends and important factors affecting the quality of education. However, the development and application of innovative methods and tools for efficient processing and analysis of such a volume of information is required.

Keywords: higher education; quality; factors; monitoring; digitalization; digital analytics.

Введение

Современное высшее образование стало ключевым фактором в развитии общества и подготовке квалифицированных специалистов. В последние десятилетия многие исследователи акцентировали внимание на различных аспектах качества высшего образования. Однако перед высшим образованием стоят сложные вызовы, связанные с обеспечением высокого качества образования. В данной статье проводится всестороннее исследование факторов и анализ их влияния на качество высшего образования. Факторы, влияющие на качество высшего образования, многочисленны и многогранны, включая педагогические, технологические, технические, социально-экономические и культурные аспекты. Последние исследования также указывают на необходимость интеграции современных технологий, таких как цифровая аналитика и искусственный интеллект (далее ИИ), для улучшения этого процесса. Исследование полностью соответствует стратегически важной государственной задаче Республики Казахстан – развитию образования и повышению качества образовательной системы [1]. Применимость результатов исследования для решения отмеченных выше стратегических задач заключается в том, что использование ИИ позволит оптимизировать образовательные процессы и повысить качество высшего образования в Казахстане.

Значимость исследования в национальном масштабе заключается в том, что она направлена на современные вызовы и задачи высшего образования в Казахстане. Улучшение качества образования имеет прямое воздействие на развитие человеческого капитала, повышение конкурентоспособности страны и экономический рост. Кроме того, разработка и применение инновационных технологий, таких как ИИ, в образовательной сфере способствует развитию национальной экспертизы в этих областях. В международном масштабе значимость исследования также несомненна, так как она внедряет передовые методы и инструменты для улучшения качества образования. Это способствует установлению партнерств с международными образовательными организациями и учреждениями, обмену опытом и передаче передовых практик. Исследование может также привлечь внимание и интерес со стороны исследователей и экспертов в области образования и ИИ, что способствует развитию науки и технологий.

Целью исследования является объединение мирового и отечественного опыта в этой области, с опорой на актуальные исследования и практические примеры, чтобы предложить интегративный взгляд на будущее высшего образования в эпоху цифровизации и интеллектуализации.

Основная часть

На качество высшего образования в современных условиях влияют как внутренние, так и внешние факторы. К внутренним относятся педагогические, технологические и технические факторы, к внешним – социально-экономические, культурные и политические факторы [2].

Педагогические факторы охватывают широкий спектр аспектов, от квалификации преподавателей до методов преподавания, оценки и поддержки студентов. Изучение и улучшение этих факторов может привести к значительному улучшению качества высшего образования.

Технологические факторы являются критически важными для повышения качества образования в вузе и они сыграли ключевую роль в трансформации высшего образования. Они не просто дополняют традиционные методы, но и оказывают значительное влияние на образовательный процесс, его качество, доступность и даже на саму структуру высшего образования.

Технические факторы в условиях новой реальности для успешной реализации традиционного, дистанционного и гибридного обучения становятся определяющими. К ним, в первую очередь, относится Интернет и его характеристики: производительность канала доступа; доступ к сети интернет и степень покрытия беспроводными сетями в кампусах университета; наличие в вузе LMS-платформ и систем видеоконференцсвязи.

Социально-экономические факторы являются важными детерминантами качества высшего образования, включая доступность, уровень инвестирования, политику, и связь с рынком труда. Они могут служить как возможности для расширения и улучшения образования, так и препятствиями, которые нужно преодолеть.

Стоящие перед высшим образованием задачи цифровой трансформации требуют формирования новых моделей «цифровых» организаций с новыми подходами к реализации всех видов деятельности, базовых и вспомогательных процессов, новыми принципами взаимодействия участников образовательного процесса и новыми цифровыми сервисами. В этих условиях крайне важным и актуальным является проведение исследований возможностей цифровых технологий в образовании, разработки видения условий их эффективного использования, учитывая скорость технологических

изменений в современном мире. Особое внимание должно быть уделено вопросам влияния цифровой аналитики на качество высшего образования. Вопросам влияния цифровой аналитики на качество высшего образования посвящено достаточно большое количество зарубежных ученых [3-7]. Эти исследования предоставляют ценную информацию о потенциале и преимуществах использования цифровых технологий и аналитики в образовательном процессе. Они также указывают на вызовы, связанные с внедрением и использованием цифровой аналитики в образовании, такие как необходимость обеспечения конфиденциальности данных, обучение преподавателей и студентов использованию аналитических инструментов, адаптация инфраструктуры и процессов для сбора и анализа данных и т.д. Эти вызовы требуют дальнейших исследований и разработки ресурсов для успешной реализации цифровой аналитики в высшем образовании. В работе [5] подробно исследуется влияние цифровой аналитики на качество образования и представлены полезные рекомендации. Результаты данного исследования могут быть использованы в проекте для разработки подходов и методик цифровой аналитики, а также для оценки эффективности программы. В работе [6] описывается опыт внедрения и использования информационной системы для аналитики данных в высшем образовании. Этот опыт может быть учтен в проекте при разработке прототипа информационной системы для поддержки принятия решений.

Для краткости изложения и не теряя при этом общности рассуждения, приведем основные выводы по другим работам. Применение цифровой аналитики в высшем образовании позволяет собирать и анализировать данные о студентах, образовательных программах и процессах обучения. Это позволяет оптимизировать учебные планы, адаптировать подходы к обучению и предоставлять персонализированную поддержку студентам [7]. Цифровая аналитика может быть использована для оценки эффективности дистанционного обучения и повышения качества образовательных программ [8]. Цифровая аналитика предоставляет возможности для анализа данных обучающихся, их поведения и прогресса, что может помочь в оптимизации образовательного процесса и улучшении результатов [9]. Цифровая аналитика может быть использована в процессе профессионального развития преподавателей и улучшения качества образования [10]. Цифровая аналитика может помочь в анализе данных обучающихся, оценке их активности и вовлеченности, что может привести к улучшению качества образования [11].

К сожалению, в Казахстане практически отсутствуют исследования, связанные с применением цифровой аналитики и их имплементации в информационные системы для поддержки принятия решений в высшем образовании. Существующие публикации отечественных исследователей, среди которых есть и публикации авторов настоящей статьи, посвящены различным аспектам цифровизации образования, в контексте которых затрагиваются общие вопросы повышения качества [12-15].

В контексте настоящего исследования, обзор предшествующих исследований подтверждает актуальность и важность использования цифровой аналитики для поддержки принятия решений и повышения качества высшего образования. Наше исследование стремится дальше развить и расширить существующие исследования, используя опыт зарубежных исследователей.

Цифровая аналитика в высшем образовании подразумевает сбор, анализ и интерпретацию данных, связанных с учебным процессом. Она играет важную роль в современном образовательном ландшафте и используется для повышения качества образования. Рассмотрим различные аспекты применения технологии цифровой аналитики в высшем образовании: аналитику обучения, адаптивное обучение, прогнозирование успеха, оценку и качество.

Аналитика обучения в высшем образовании становится все более важным компонентом в высшем образовании. Она включает в себя сбор, анализ и интерпретацию данных об учебном процессе студентов для понимания и оптимизации обучения и среды, в которой оно происходит [12, 13].

Понимание студентов. Аналитика обучения позволяет учебным заведениям более глубоко понимать, как студенты взаимодействуют с материалом. Систематический анализ данных об учебных достижениях и взаимодействии студентов с образовательными ресурсами может выявить особенности их учебного поведения. Это, в свою очередь, может позволить преподавателям адаптировать методы обучения к индивидуальным потребностям студентов, способствуя улучшению уровня понимания и усвоения материала.

Проактивное вмешательство. Проактивное вмешательство основывается на использовании данных аналитики для оперативного выявления студентов, которые могут столкнуться с проблемами в учебном процессе. Например, системы, разработанные в Purdue University, позволяют

преподавателям заранее определить студентов, нуждающихся в дополнительной поддержке, и вовремя предложить им необходимую помощь.

Оптимизация курсов и программ. Данные аналитики обучения могут служить основой для систематического анализа эффективности различных курсов и программ. Это включает в себя оценку успеха студентов, удовлетворенности курсом и даже того, как конкретные элементы курса влияют на успех студентов. Эти данные могут быть использованы для внесения изменений и улучшений в учебные планы.

Этические рассуждения. Аналитика обучения также порождает вопросы этики и конфиденциальности. В то время как сбор и анализ данных о студентах могут принести пользу, они также могут вызвать опасения о конфиденциальности и соблюдении законов о защите данных. Прозрачность в отношении того, какие данные собираются и как они используются, является ключевым фактором в обеспечении этичного использования аналитики обучения.

Эти блоки образуют многообещающую картину применения аналитики обучения в высшем образовании, подчеркивая ее возможности для индивидуализации обучения, раннего выявления потенциальных проблем и оптимизации учебных программ, с учетом важных этических соображений.

Адаптивное обучение в высшем образовании

Адаптивное обучение является одним из наиболее обещающих направлений в сфере высшего образования, благодаря интеграции аналитики обучения. Оно представляет собой подход, при котором учебный процесс адаптируется под индивидуальные потребности каждого студента. Рассмотрим, как это работает на практике, и обсудим научные исследования по данному вопросу [10,11].

Основы адаптивного обучения. Адаптивное обучение использует алгоритмы и искусственный интеллект для анализа поведения и успехов студента, а затем настраивает учебный материал в соответствии с уникальными потребностями каждого студента. Это может включать в себя выбор уровня сложности задач, типа вопросов, темпа обучения и так далее.

Преимущества адаптивного обучения. Применение адаптивного обучения может увеличить уровень удержания информации и улучшить мотивацию студентов. Оно позволяет учащимся продвигаться в своем собственном темпе и фокусироваться на тех областях, в которых они нуждаются в дополнительной практике.

Технологические решения. Существует множество платформ и инструментов, предназначенных для реализации адаптивного обучения, таких как Squirrel AI, Knewton и DreamBox Learning. Эти системы используют сложные алгоритмы и большие данные для настройки учебного процесса под каждого студента.

Возможные ограничения и вызовы. Несмотря на преимущества, адаптивное обучение также представляет ряд вызовов. Оно требует значительных технологических ресурсов и может быть сложным в реализации на большом масштабе. Остаются актуальными задачи обеспечения безопасности и конфиденциальности данных. Сбор и обработка больших объемов данных требуют применения надежных механизмов защиты и контроля доступа к информации, чтобы гарантировать сохранность личной информации студентов и преподавателей. В рамках дальнейших исследований будет уделяться особое внимание разработке системы безопасности и приватности данных, чтобы обеспечить соответствие стандартам безопасности и конфиденциальности в образовательной сфере.

Адаптивное обучение в высшем образовании предлагает революционный подход к индивидуализации учебного процесса, позволяя студентам работать в удобном для них темпе и фокусироваться на уникальных потребностях. Оно обещает улучшить как качество, так и эффективность образования, хотя также влечет за собой определенные технологические и этические вызовы.

Прогнозирование успеха в высшем образовании

Прогнозирование успеха студентов является ключевым аспектом аналитики обучения и динамично развивающейся областью в высшем образовании. Это направление включает в себя использование данных и аналитических методов для определения вероятности успеха студента в учебном процессе. Рассмотрим это направление, а также исследования и практики в данной области [12, 13]. Прогнозирование успеха включает в себя анализ данных о студентах, таких как оценки, посещаемость, уровень участия в классе и другие, с целью прогнозирования их будущего успеха или неудачи в учебном процессе. С помощью машинного обучения и статистических методов, учебные заведения могут создавать модели, которые оценивают риски и потенциал студентов в различных аспектах учебного процесса. Эти модели могут учитывать широкий спектр факторов, от демографических данных до взаимодействия с образовательными платформами онлайн. Прогнозирование успеха может

помочь преподавателям и администраторам вовремя выявлять студентов, которые могут столкнуться с трудностями, и предлагать им необходимую поддержку. Оно также может быть использовано для определения эффективности курсов и программ обучения.

Необходимо внимательно рассматривать вопросы конфиденциальности и справедливости в контексте прогнозирования успеха, так как неправильное применение может привести к дискриминации или нарушению приватности студентов. Прогнозирование успеха студентов представляет собой мощный инструмент в руках современного высшего образования. Оно позволяет создавать персонализированные пути обучения и своевременно реагировать на потенциальные трудности студентов. Тем не менее, это направление также требует тщательного внимания к вопросам этики и справедливости, чтобы обеспечить ответственное и справедливое применение.

Оценка и качество в высшем образовании

Оценка и качество образования – это две взаимосвязанные концепции, которые играют ключевую роль в современном высшем образовании. Оценка студентов и образовательных программ является основой для обеспечения и улучшения качества образования. Рассмотрим эти аспекты, обратив внимание на научные исследования и текущие практики в данной области [14, 15].

Оценка студентов. Оценка студентов включает в себя меры и методы, используемые для измерения знаний, умений и достижений студентов. Она может быть формативной (направленной на обратную связь и улучшение) или суммативной (направленной на окончательную оценку).

Оценка образовательных программ. Этот процесс включает в себя систематическую оценку качества учебных планов, методов преподавания и других компонентов образовательной программы. Он важен для обеспечения, что программа достигает своих образовательных целей и соответствует стандартам.

Качество образования. Качество образования – это многогранный концепт, который включает в себя эффективность образовательного процесса, удовлетворенность студентов, соблюдение стандартов и другие факторы. Это ключевой аспект, который влияет на репутацию учебного заведения и успех его студентов.

Технологии в оценке и качестве. Современные технологии, такие как аналитика обучения и искусственный интеллект, могут быть использованы для автоматизации и улучшения процессов оценки, а также для мониторинга и улучшения качества образования.

Этические вопросы и вызовы. При оценке и обеспечении качества необходимо учитывать этические аспекты, такие как справедливость, прозрачность и конфиденциальность данных студентов. Также могут возникать вызовы, связанные с различиями в культурных и образовательных стандартах.

Оценка и качество являются жизненно важными аспектами высшего образования, которые влияют на успех студентов и репутацию образовательных учреждений. Современные технологии и методы аналитики обучения предоставляют новые возможности для улучшения этих процессов, хотя и влекут за собой свои этические и практические вызовы.

Заключение

Высшее образование переживает период значительных изменений, и технологические инновации, такие как цифровая аналитика, играют важную роль в эволюции этого процесса. В данной статье мы рассмотрели различные аспекты влияния этих технологий на качество образования, включая анализ разнообразных факторов и их влияние, а также потенциальные преимущества и вызовы.

Факторы, влияющие на качество образования. Педагогические: качество обучения во многом определяется квалификацией преподавателей, методами обучения и процессами оценивания. Технологические: современные технологии предоставляют новые способы доставки и доступа к образовательным ресурсам. Технические: цифровая инфраструктура вузов является определяющей для успешной реализации как традиционной формы обучения, так и для дистанционной, смешанной и гибридной форм онлайн обучения. Социально-экономические: экономические условия и социальная структура оказывают существенное влияние на доступность и качество высшего образования.

Применение технологии цифровой аналитики в высшем образовании. Адаптивное обучение, обеспечивает персонализированное образование для каждого студента. Прогнозирование успеха, помогает определить потенциальные проблемы в успеваемости студентов заранее. Оценка и качество, улучшает способы оценки и мониторинга образовательного процесса.

В заключение стоит подчеркнуть, что понимание и активное вовлечение в эти процессы требуют коллаборации между академическими, промышленными и правительственными организациями.

Синергия этих усилий может привести к более эффективному и ответственному применению новых технологий в высшем образовании. Тем не менее, важно сохранять баланс между инновациями и традиционными методами, а также учитывать этические и культурные особенности в различных контекстах. Только комплексный и чуткий подход может гарантировать, что применение искусственного интеллекта действительно будет способствовать повышению качества и доступности высшего образования на глобальном уровне.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках грантового финансирования по проекту ИРН AP19678846 «Повышение эффективности гибридных и дистанционных форм организации учебного процесса на основе развития инфраструктуры вузов в условиях цифровой трансформации».

Список использованной литературы:

- 1 Национальный проект «Качественное образование» «Образованная нация». Постановление Правительства Республики Казахстан, 12.10.2021г., № 726. www.gov.kz/memleket/entities/sci/documents/details/398899?lang=ru
- 2 Сейсекенова М.Б. Пути совершенствования качества образования в современных условиях в Казахстане // Жетысуский университет им. И. Жансугурова. 2022 <https://doi.org/10.53355/s9073-5517-5761-0>
- 3 Есенбаева Г.А., Какенов К.С., Какенова У.К. Оценка факторов, влияющих на качество образования в ВУЗЕ // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 2-2. – С. 241-244;
- 4 Gibbs, G. Reflections on the Assessment of Student Learning. In K. S. E. Björklund et al. (Eds.), *Enhancing Student Learning through Assessment: A Toolkit Approach*. Aarhus University Press. 2013
- 5 Baker, R. S., de Carvalho, A. M. J., Rasheed, Z., & D'Mello, S. K. The Impact of Digital Analytics on Higher Education Quality. *Journal of Learning Analytics*, 2019, 6(3), P. 1-9.
- 6 Nelson, A. M., van der Werf, M. P., & Sharp, A. E. Creating a dashboard for higher education. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 2018, 16(3), P. 431-445. [DOI: 10.1111/dsji.12142]
- 7 Harrison, R., & Colman, R. Predictive Modelling of Student Success in Higher Education. *International Journal of Digital Analytics and Intelligence*, 2018, 1(2).
- 8 Moore, M. G., & Kearsley, G. *Distance education: A systems view of online learning*. Belmont, CA: Cengage Learning. 2012
- 9 Ifenthaler, D., & Sampson, D. G. Digital Analytics for Learning and Education. In *Handbook of Learning Analytics 2019*, (pp. 895-905). Society for Learning Analytics Research.
- 10 Swan, K. Digital teaching and learning in higher education: A case study of professional development. *Journal of Research on Technology in Education*, 2013, 45(1), 29-51.
- 11 Eloy Dizon, Ron Owston. Examining the impact of digital analytics on teaching and learning in higher education. 2021 (<https://www.researchgate.net/publication/340877542>)
- 12 Бугубаева Р.О., Беспяева Р.С., Березюк В.И., Ержанов М.С. Трансформация высшего образования в условиях информатизации и цифровизации. // Вестник университета «Туран». 2021, (3):272-277. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2021-1-3-272-277>.<https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1920?locale=ruRU>
- 13 Бордияну И.В., Сарсембаева Г.Ж., Мамбетказиев А.Е. Проблемы и перспективы развития цифровизации в сфере образования. // Вестник университета «Туран». 2022, (1), 268-275. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2022-1-1-268-275>.
- 14 Ахметов Б.С., Ошанова Н.Т. Цифровая трансформация вузов: требования к инфраструктуре// Сборник статей XXII Международной научно-технической конференции. Пензенский государственный университет, 2022– 356 с. ISBN: 978-5-8356-1800-2
- 15 Ахметов Б.С., Карлов И.А., Жилкишибаев А.А. В международной повестке цифровой трансформации анализ концепции и процессов цифровизации КазНПУ имени Абая// Вестник КазНПУ имени Абая. Серия «Педагогика и психология». 2021, – №2(47), – С.15-17 <https://doi.org/10.51889/2021-2.2077-6861.01>
- 16 Ferguson, R. *Learning Analytics: Drivers, Developments and Challenges*. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 2012, 4(5/6), 304-317.
- 17 Slade, S., & Prinsloo, P. *Learning Analytics: Ethical Issues and Dilemmas*. *American Behavioral Scientist*, 2013, 57(10), 1509-1528.
- 18 Knewton. *The State of Adaptive Learning*. Knewton White Paper. 2014
- 19 Zhou, M. Adaptive Learning's Potential and Pitfalls. *EDUCAUSE Review*. 2019
- 20 Chen, B. Challenges of Adaptive Learning Technology in Higher Education. *TechTrends*, 2020, 64, 407-411.
- 21 Dekker, G.W., Pechenizkiy, M., & Vleeshouwers, J.M. Predicting Students Drop Out: A Case Study. *International Working Group on Educational Data Mining*. 2017
- 22 Kuh, G.D., Jankowski, N., Ikenberry, S.O., & Kinzie, J. *Using Evidence of Student Learning to Improve Higher Education*. Jossey-Bass. 2015

23 Bienkowski, M., Feng, M., & Means, B. *Enhancing Teaching and Learning Through Educational Data Mining and Learning Analytics*. U.S. Department of Education. 2012

24 Ryan, G. *Learning and Teaching in the Digital Age: Constructively Aligned Assessment*. *Creative Education*, 2015, 6, 220-229.

References:

1 Nacional'nyj proekt (2021) «Kachestvennoe obrazovanie» «Obrazovannaja nacija». Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan [National project "Quality Education" "Educated Nation". Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan], 12.10.2021g., № 726. www.gov.kz/memleket/entities/sci/documents/details/398899?lang=ru. (In Russian)

2 Sejskenova M.B. (2022). Puti sovershenstvovaniya kachestva obrazovaniya v sovremennyh usloviyah v Kazahstane [Ways to improve the quality of education in modern conditions in Kazakhstan] // *Zhetyuskij universitet im. I. Zhansugurova*. <https://doi.org/10.53355/s9073-5517-5761-o>. (In Russian)

3 Esenbaeva G.A., Kakenov K.S., Kakenova U.K. (2016) Ocenka faktorov, vlijajushhih na kachestvo obrazovaniya v VUZE [Assessment of factors influencing the quality of education at a university] // *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovaniya*. – 2016. – № 2-2. – S. 241-244. (In Russian)

4 Gibbs, G. (2013). *Reflections on the Assessment of Student Learning*. In K. S. E. Björklund et al. (Eds.), *Enhancing Student Learning through Assessment: A Toolkit Approach*. Aarhus University Press.

5 Baker, R. S., de Carvalho, A. M. J., Rasheed, Z., & D'Mello, S. K. (2019). *The Impact of Digital Analytics on Higher Education Quality*. *Journal of Learning Analytics*, 6(3), 1-9.

6 Nelson, A. M., van der Werf, M. P., & Sharp, A. E. (2018). *Creating a dashboard for higher education*. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 16(3), 431-445. DOI: 10.1111/dsji.12142

7 Harrison, R., & Colman, R. (2018). *Predictive Modelling of Student Success in Higher Education*. *International Journal of Digital Analytics and Intelligence*, 1(2).

8 Moore, M. G., & Kearsley, G. (2012). *Distance education: A systems view of online learning*. Belmont, CA: Cengage Learning.

9 Ifenthaler, D., & Sampson, D. G. (2019). *Digital Analytics for Learning and Education*. In *Handbook of Learning Analytics* (pp. 895-905). Society for Learning Analytics Research.

10 Swan, K. (2013). *Digital teaching and learning in higher education: A case study of professional development*. *Journal of Research on Technology in Education*, 45(1), 29-51.

11 Eloy Dizon, Ron Owston. (2021) *Examining the impact of digital analytics on teaching and learning in higher education*. (<https://www.researchgate.net/publication/340877542>)

12 Bugubaeva R.O., Bespaeva R.S., Berezjuk V.I., Erzhanov M.S. (2021) *Transformacija vysshego obrazovaniya v usloviyah informatizacii i cifrovizacii [Transformation of higher education in the conditions of informatization and digitalization]* // *Vestnik universiteta «Turan»*, (3):272-277. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2021-1-3-272-277>. https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1920?locale=ru_RU. (In Russian)

13 Bordijanu I.V., Sarsembaeva G.Zh., Mambetkaziev A.E. *Problemy i perspektivy razvitiya cifrovizacii v sfere obrazovaniya. [Problems and prospects for the development of digitalization in the field of education.]* // *Vestnik universiteta «Turan»*. 2022, (1), 268-275. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2022-1-1-268-275>. (In Russian)

14 Ahmetov B.S., Oshanova N.T. (2022) *Cifrovaja transformacija vuzov: trebovaniya k infrastructure [Digital transformation of universities: infrastructure requirements]* // *Sbornik statej XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Penzenskij gosudarstvennyj universitet*, – 356 s. ISBN: 978-5-8356-1800-2. (In Russian)

15 Ahmetov B.S., Karlov I.A., Zhilkishbaev A.A. (2021) *V mezhdunarodnoj povestke cifrovoj transformacii analiz koncepcii i processov cifrovizacii KazNPU imeni Abaja [In the international digital transformation agenda, analysis of the concept and processes of digitalization of Abay KazNPU]* // *Vestnik KazNPU imeni Abaja. Serija «Pedagogika i psihologija»*, – №2(47), – S.15-17 <https://doi.org/10.51889/2021-2.2077-6861.01>. (In Russian)

16 Ferguson, R. (2012). *Learning Analytics: Drivers, Developments and Challenges*. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5/6), 304-317.

17 Slade, S., & Prinsloo, P. (2013). *Learning Analytics: Ethical Issues and Dilemmas*. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1509-1528.

18 Knewton (2014). *The State of Adaptive Learning*. Knewton White Paper.

19 Zhou, M. (2019). *Adaptive Learning's Potential and Pitfalls*. *EDUCAUSE Review*.

20 Chen, B. (2020). *Challenges of Adaptive Learning Technology in Higher Education*. *TechTrends*, 64, 407-411.

21 Dekker, G.W., Pechenizkiy, M., & Vleeshouwers, J.M. (2017). *Predicting Students Drop Out: A Case Study*. *International Working Group on Educational Data Mining*.

22 Kuh, G.D., Jankowski, N., Ikenberry, S.O., & Kinzie, J. (2015). *Using Evidence of Student Learning to Improve Higher Education*. Jossey-Bass.

23 Bienkowski, M., Feng, M., & Means, B. (2012). *Enhancing Teaching and Learning Through Educational Data Mining and Learning Analytics*. U.S. Department of Education.

24 Ryan, G. (2015). *Learning and Teaching in the Digital Age: Constructively Aligned Assessment*. *Creative Education*, 6, 220-229.

МРНТИ 20.01.07
УДК 376.3

10.51889/2959-5894.2023.83.3.024

Д.Н. Исабаева ^{1*}, Л.Б. Рахимжанова ², Я. Култан ³, А.А. Какенбекова ⁴

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

² Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³ Экономический университет в Братиславе, г. Братислава, Словакия

⁴ Учебно-методический центр развития образования Карагандинской области, Казахстан

*e-mail: daraja_78@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОТБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВОГО КОНТЕНТА ПО КУРСУ «ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ» ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация

Статья направлена на выявление перечня и классификации цифрового контента курса «Цифровая грамотность» для инклюзивного обучения в начальной школе, в результате анализа существующих цифровых контентов. На основе международного опыта и внутреннего исследования обозначены не только основные проблемы по цифровому контенту курса «Цифровая грамотность» при инклюзивном обучении, но предложены пути решения данной проблемы. На основе анализа цифрового контента выявлены пригодность разделов электронного учебника для детей с ООП. Использование опроса и анкетирования были выявлены некоторые представления родителей и преподавателей. Также были проанализированы основные документы Республики Казахстан с целью выявления положительных и отрицательных сторон данного направления обучения детей с некоторыми ограничениями. Проанализированы существующие цифровые контенты и определены перечень и классификация элементов цифрового контента по курсу «Цифровая грамотность» для создания мобильного приложения для смартфонов и планшетов с учетом разработки дополненной реальности (AR).

Ключевые слова: инклюзивное образование, дети с особыми образовательными потребностями, обучение в начальной школе, цифровой контент, электронный учебник.

Аңдатпа

Д.Н. Исабаева ¹, Л.Б. Рахимжанова ², Я. Култан ³, А.А. Какенбекова ⁴

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

² Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³ Братиславадағы Экономика университеті, Братислава қ., Словакия

⁴ Караганды облысында білім беруді дамытудың оқу-әдістемелік орталығы, Қазақстан

МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАҒА АРНАЛҒАН "ЦИФРЛЫҚ САУАТТЫЛЫҚ" КУРСЫ БОЙЫНША САНДЫҚ КОНТЕНТ ЭЛЕМЕНТТЕРІН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ІРІКТЕУ

Мақала қолданыстағы цифрлық мазмұнды талдау нәтижесінде бастауыш мектепте инклюзивті білім беруге арналған «Цифрлық сауаттылық» курсының цифрлық мазмұнының тізбесі мен классификациясын анықтауға бағытталған. Халықаралық тәжірибе мен ішкі зерттеулерге сүйене отырып, инклюзивті білім берудегі «Цифрлық сауаттылық» курсының цифрлық мазмұнындағы негізгі проблемалар анықталып қана қоймай, бұл мәселені шешу жолдары ұсынылды. Цифрлық мазмұнды талдау негізінде электрондық оқулықтың бөлімдерінің ерекше білім беру қажеттіліктері бар балаларға жарамдылығы анықталды. Сауалнама мен сұрастырулардың нәтижелерін пайдалана отырып, ата-аналар мен мұғалімдердің кейбір пікірлері анықталды. Сондай-ақ кейбір шектеулері бар балаларға білім берудің осы саласының оң және теріс жақтарын анықтау мақсатында Қазақстан Республикасының негізгі құжаттарына талдау жасалды. Қолданыстағы цифрлық контенттер талданды және толықтырылған шындықты (AR) әзірлеуді ескере отырып, смартфондар мен планшеттерге арналған мобильді қосымшаны құру үшін «Цифрлық сауаттылық» курсы бойынша цифрлық мазмұн элементтерінің тізімі мен жіктелуі анықталды.

Түйін сөздер: инклюзивті білім беру, ерекше білім беруді қажет ететін балалар, бастауыш мектептегі білім, цифрлық контент, электронды оқулық.

Abstract

**IDENTIFICATION AND SELECTION OF DIGITAL CONTENT ELEMENTS IN THE COURSE
"DIGITAL LITERACY" FOR A MOBILE APPLICATION**

D.N. Isabaeva², L.B. Rakhimzhanova¹, Y. Kultan³, A.A. Kakenbekova⁴

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³ University of Economics in Bratislava, Bratislava, Slovakia

⁴ Educational and methodological center for the development of education of the Karaganda region, Kazakhstan

The article is aimed at identifying the list and classification of digital content of the course "Digital Literacy" for inclusive education in primary school, as a result of the analysis of existing digital content. Based on international experience and internal research, not only the main problems of the digital content of the course "Digital Literacy" in inclusive education are identified, but ways to solve this problem are proposed. Based on the analysis of digital content, the suitability of sections of an electronic textbook for children with OOP is revealed. Using a survey and a questionnaire, some representations of parents and teachers were revealed. The main documents of the Republic of Kazakhstan were also analyzed in order to identify the positive and negative sides of this direction of teaching children with some restrictions. The existing digital content is analyzed and the list and classification of digital content elements for the course "Digital Literacy" for creating a mobile application for smartphones and tablets, taking into account the development of augmented reality (AR), are determined.

Keywords: inclusive education, children with special educational needs, primary school education, digital content, electronic textbook.

Введение

Одной из главных задач стратегического плана развития Республики Казахстан до 2025 года является развитие инклюзивного образования в стране. В этой связи, в Послании Глава государства отметил, что «наша система образования должна быть доступной и инклюзивной» [1]. Впервые в зарубежных странах вопросы организации образовательного процесса для детей с особыми образовательными потребностями (ООП) были рассмотрены в 1970-х годах, а инклюзивные образовательные программы были полностью внедрены в США и европейских странах [2]. Гарантии на образование лиц с особыми образовательными потребностями в Конституции РК в законе "О правах ребенка в РК" и Законе РК "Об образовании" предусмотрено, что государство со своей стороны обеспечивает развитие и образование лиц с особыми образовательными потребностями» [3].

С развитием цифровизации в стране, для улучшения инклюзивного преподавания и обучения цифровые контент (ЦК) открывают широкий спектр возможностей. Они облегчают предоставление учебных ресурсов разной сложности, длительности и уровня интереса, позволяя масштабировать обучение в соответствии с конкретными потребностями и предметами. Кроме того, ЦК могут повышать мотивацию учащихся и способствовать независимому обучению, что экономит время и усилия, которые ранее были затрачены на печать и другие традиционные методы обучения.

С 24 июля 2023 года в Комитете среднего образования Министерства просвещения РК [Zakon.kz](http://zakon.kz) сообщили, что в настоящее время 80% учебников переведены в цифровой формат. Глава комитета уточнил, что в 2024 году планируется 100% охват дисциплин цифровыми учебниками. "На сегодня в стране переведено 94% учебников начальных классов, 81% учебников 5-9 классов, 61% учебников 10-11 классов в электронную версию. В 2024 году планируется 100% охват дисциплин цифровыми учебниками" [4]. В связи с этим, для получения качественного образования в современном мире, цифровая грамотность становится частью повседневной жизни для всех учащихся, включая тех, кто имеет разнообразные физические, когнитивные и коммуникативные потребности.

Теперь возникают следующие вопросы: как обучать детей цифровой грамотности с особыми потребностями, какими должны быть элементы цифрового контента по курсу "Цифровая грамотность", и какие приложения следует разработать для улучшения контента этого курса?"

Современное поколение, в том числе детей с ООП называют «сетевым» поколением, так как они родились в эпоху цифровизации и вовлеченности в смартфоны настолько, что о них говорят, что они «родились со смартфоном в руках» Образ жизни этого поколения благодаря Интернету проходит в виртуальном мире, они уверены, что он не имеет границ. Это поколение подковано технически в плане поиска и использования информации из различных источников и уже с детства слышат о дополненной и виртуальной реальности.

Образование должно идти в ногу с поколением и использовать смартфоны и планшеты, становится незаменимыми помощниками при обучении, а одним из наиболее интересных аспектов их использования является дополненная реальность (AR).

Цель данной статьи состоит в анализе существующих цифровых контентов и определении перечня и классификации элементов цифрового контента по курсу “Цифровая грамотность” для создания мобильного приложения для смартфонов и планшетов с учетом разработки дополненной реальности (AR).

Методология исследования

1. Методы исследования

Для решения поставленных задач будут использованы следующие методы исследования: теоретический анализ предмета исследования, изучение проблемы исследования посредством освоения передового опыта, теоретическое обобщение результатов исследования, а также их интерпретация с точки зрения новых фактов и действительных условий, анкетирование учащихся, опросы, разговоры, беседы, видеоконференции, тестирование, модель принятия технологии, анализ литературы.

2. Материалы и процедуры

2.1 Современное состояние инклюзивного обучения в Казахстане

По данным представителя мажилиса, в Казахстане насчитывается более 162 тыс. детей с особыми образовательными потребностями или 2,7% от общей численности детей [5]. На пути внедрения инклюзивного образования Казахстан преодолевает трудности и старается решать возникшие проблемы, в том числе с помощью внедрения международного опыта: По примеру зарубежных, в казахстанских школах введена должность педагога-ассистента – тьютора.

На V заседании Национального совета общественного доверия президент РК Касым-Жомарт Токаев отметил, что в стране растёт количество детей с особыми образовательными потребностями, но при этом действующие нормы по функционированию подобных специализированных организаций устарели [6]. Внесение изменений и дополнений в некоторые законодательные нормы, обеспечивающих вариативность, гибкость учебных программ в зависимости от особенностей развития обучающегося позволяют расширить возможности для получения качественного инклюзивного образования для детей с особыми потребностями [7].

С 2024 года будет усилена инклюзивность образования, обеспечен равный доступ к качественному образованию в общеобразовательных, специальных школах, городских и сельских школах [8].

2.2 Лица с особыми образовательными потребностями

Термин "лица с особыми образовательными потребностями" (ООП) используется в контексте образования для описания учащихся, у которых есть уникальные образовательные потребности, которые могут потребовать дополнительной поддержки, адаптации программ обучения и ресурсов для обеспечения успешного обучения и развития. ООП могут включать в себя разнообразные факторы и особенности (рисунок 1).

Обеспечение инклюзивного образования и учета особых образовательных потребностей становятся важной задачей для образовательных систем. Это включает в себя разработку индивидуальных образовательных программ (ИОП), обучение педагогов в методах инклюзивного обучения, доступ к специальным образовательным ресурсам и поддержку от специалистов в области специального образования. Это помогает каждому учащемуся достичь своего потенциала и успешно интегрироваться в образовательное общество.

Важно подчеркнуть, что каждый человек с особыми потребностями уникален, и подход к их поддержке должен быть индивидуализированным и адаптированным к конкретным потребностям и способностям каждого человека. Социум стремится обеспечить равные возможности и инклюзивное общество для всех, вне зависимости от их особых потребностей.

2.3 Анализ и обзор литературы

В исследованиях отечественных и зарубежных авторов мы обнаружили разные мнения о теоретических и практических аспектах цифровизации обучения, в том числе и в инклюзивном образовании.

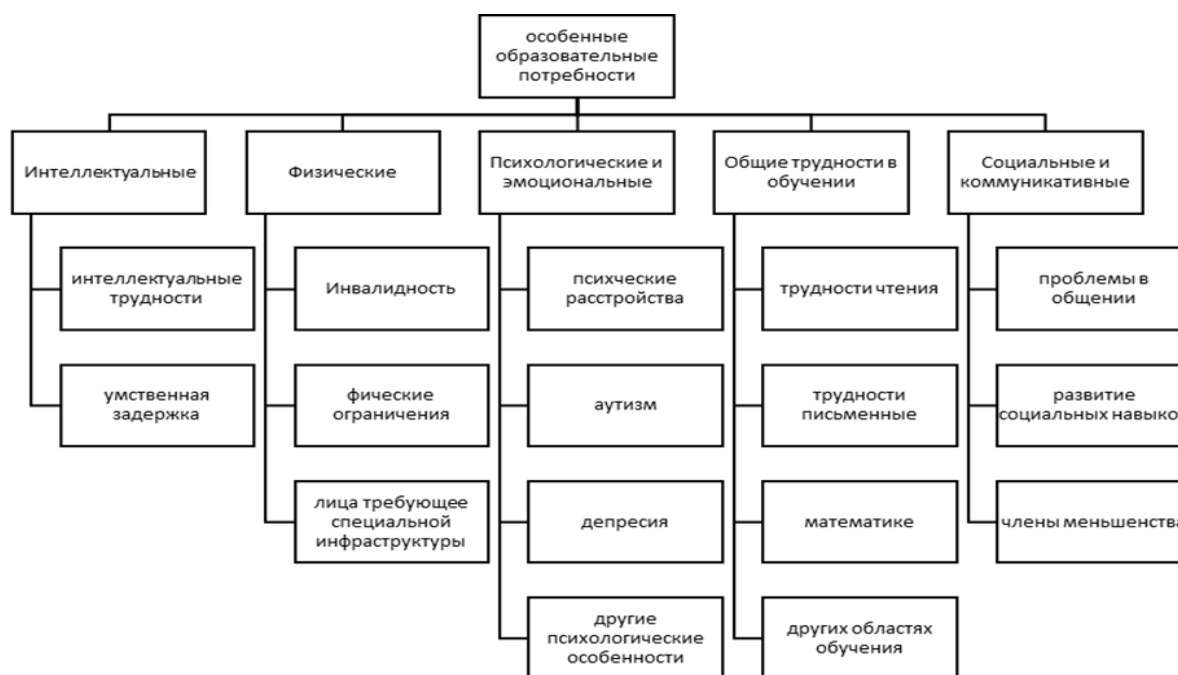


Рисунок 1. Классификация особых образовательных потребностей

Цифровые контенты открывают широкий спектр возможностей для улучшения инклюзивного обучения. Они предоставляют ресурсы различного уровня, позволяют масштабировать курс, экономить время, и позволяют печатать. Кроме того, они мотивируют учащихся на самостоятельное обучение. Кроме того, цифровизация позволяет комбинировать аудио, текст, видео, изображения, геймификацию и т.д., а также способствует мультимодальному обучению. Цифровые инструменты можно использовать для удовлетворения индивидуальных потребностей детей с особыми образовательными потребностями или без них, а также предоставить учащимся широкий доступ к учебным материалам. Использование планшетов позволяет переносить процесс обучения в любое место и в любое время, а также адаптировать его к различным потребностям. С использованием цифровых контентов в классе можно повысить детскую мотивацию. Чтобы обеспечить повышение уровня мотивации детей к учебе, цифровые контенты должны быть удобны [9].

Термин «удобство использования» означает, насколько легко и приятно использовать системы. По данным [10] качество интерфейса Юзабилити состоит из пяти факторов: (1) обучаемость (простота использования), (2) эффективность (способность пользователя быстро выполнять задачи), (3) запоминаемость (способность восстановить навыки после периода неиспользования), (4) ошибка (номер ошибки, серьезность и возможность восстановления) и (5) удовлетворенность (приятное использование дизайна). Также необходимо принимать во внимание вопросы, касающиеся разнообразия использования и технологий. Устройства также должны быть разработаны для различных групп пользователей, например, чтобы можно было использовать программное обеспечение на дисплеи разных размеров или на разных моделях планшетов. Чтобы решить проблемы, размер и дизайн клавиатуры должны быть гибкими. Отсутствие тактильной обратной связи на виртуальных клавиатурах может привести к неточным нажатиям, что может создавать неудобство для пользователей. Важно обеспечивать последовательные и легко читаемые условия и шрифты на виртуальных клавиатурах, чтобы соответствовать ожиданиям пользователей. Для увеличения удобства использования рекомендуется выделять или раскрашивать важные кнопки и использовать понятный язык и стандартизированные экраны. Среда обучения должна быть простой для понимания, а функции и интерфейс должны быть последовательными и четко определенными, чтобы пользователи могли интуитивно понимать, как им пользоваться. Удобство использования может изменяться в зависимости от конкретной задачи, которую пользователь пытается выполнить. Например, чтение с планшета может быть воспринято как более удобное, чем написание задания на планшете. Исследования показали, что при разработке виртуальных клавиатур и интерфейсов важно уделять внимание удобству использования, интуитивной понятности и соответствию ожиданиям пользователей, а также учитывать разные задачи, которые пользователи могут выполнять при взаимодействии с устройствами [11].

Интересным представляется научно-исследовательский проект “Методологические аспекты цифровой визуализации объектов на основе технологии дополненной реальности”, целью которого является разработка и внедрение в учебном процессе мультимедийной обучающей технологии на основе использования дополненной (AR) и виртуальной (VR) реальностей с элементами геймификации для повышения качества обучения, популяризации национальных ценностей и развития культурного потенциала обучающихся [12]. Но объектом исследования являются уникальные проекты виртуальных кабинетов химии, с лабораторными работами и физики.

На сегодняшний день проведено относительно малое количество научных исследований в области использования технологии дополненной реальности в образовании. Среди ученых, занимающихся данной проблемой, следует выделить С. Джохима, Х. Кауфманна, Л.Л. Лопез, Б. Мейера, Т. Нослони. В их работах описываются преимущества использования средств дополненной реальности в образовании, а также предлагаются учебные задания, связанные с применением данной технологии в образовательном процессе.

В мировой практике образования дополненная реальность (AR) используется для воссоздания исторических событий или чтения обычных книг в 3D-проекциях. Пример уже внедренных технологий – японское приложение New Horizon, но сейчас это приложение не находится в свободном доступе.

Приложение AugThat предназначенная для начальных школ, предлагает пару десятков курсов AR направленных на то, чтобы заставить маленьких учеников полюбить обучение, но, к сожалению, нет уроков по цифровой грамотности. В России используется бесплатное мобильное приложение для обучения и социальной адаптации детей с особенностями психического развития «AR TUTOR», к сожалению приложение ориентировано лишь на русскоязычную аудиторию и имеет ограниченные бесплатные возможности его применения, в основном бытового характера [13].

Казахстанские компании AVR Group, BigDreamLab, 10Tech которые занимаются разработкой приложений в области виртуальной (VR), дополненной реальности (AR) и смешанной реальности (MR), а также создают интерактивные 3D презентации VIP класса рассматривают коммерческие запросы, которые не могут себе позволить большинство школ РК. В Астане создана школьная лаборатория виртуальной реальности — NURLab. Используются специальные очки с VR-технологиями [14]. Но для дополненной реальности не обязательно использовать дорогостоящее оборудование, она позволяет добавлять различную информацию к объекту на экране, если навести камеру телефона или планшета. Поместив дополненную информацию рядом с соответствующим объектом, приложение помогает сократить время на поиск описания данного объекта, также это создает более прочную связь между изображениями объекта и данными.

В Казахстане при обучении курсу “Цифровая грамотность” используются электронные учебники издательства "Атамұра" (<http://www.oqulyqatar.kz/>), "Алматыкітап" (<https://topiq.kz>) и "Арман ПВ" (<http://ekitar.kz/>) [15], в том числе для детей с ООП. Приведем общий анализ для всех трех изданий по следующим критериям:

- доступность, контент курса предоставляется в доступных форматах, таких как аудио, текст и видео. Это обеспечивает доступность для учеников с разными потребностями;
- разнообразие контента, курс предлагает разнообразные материалы, включая текстовые статьи, интерактивные задания и визуальные элементы, такие как графики и иллюстрации;
- интерактивность, курс включает интерактивные элементы, такие как задания и тесты, чтобы проверить понимание учеников;
- поддержка вспомогательных технологий, предоставляет поддержку для программ чтения с экрана и других вспомогательных технологий;
- адаптивность, материалы курса спроектированы так, чтобы адаптироваться к разным уровням навыков и стилям обучения учеников.

Выбор конкретного издательства и его контента зависит от конкретных потребностей и целей обучения в школе, а также от доступности и ресурсов. После ознакомления с образовательным контентом, проведена беседа с учителями, родителями и учениками для более детального исследования каждого раздела, а также чтобы определить, какой из них наилучшим образом соответствует в инклюзивном образовании. Это позволяет принимать информированные решения и адаптировать образовательные материалы и методы под конкретные потребности учащихся с особыми потребностями.

Целью изучения предмета «Цифровая грамотность» является обеспечение обучающихся базовыми знаниями, умениями и навыками по вопросам устройства компьютера, представления и обработки

информации, работы в сети Интернет, вычислительного мышления, робототехники для эффективного использования современных информационных технологий на практике. Рассмотрим в таблице 1 сравнительный анализ пригодности для детей ООП цифрового контента некоторых разделов курса «Цифровая грамотность».

Таблица 1. Сравнительный анализ пригодности разделов электронного учебника для детей с ООП

Классификация элементов цифрового контента (ЦК)	Пригодность	Проблемы	Рекомендации к добавлению элементов ЦК
Раздел 1. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЭТИКЕТ			
ЦК для детей с задержкой психического развития (ЗПР)	Средняя	Сложность понимания абстрактных понятий, таких как безопасность в интернете.	Упрощение ЦК, использование визуальных подсказок и конкретных примеров.
ЦК для детей с ограничением слуха	Средняя	Отсутствие субтитров или жестового перевода при использовании аудио- и видеоматериалов.	Добавление субтитров и жестового перевода к аудио- и видеоматериалам. Насыщенность текстового материала, заменяющего голосовую информацию.
ЦК для детей с ограничением двигательного аппарата	Средняя	Необходимость использования мыши и клавиатуры для навигации и выполнения заданий.	Введение адаптивных устройств для управления компьютером, таких как голосовое управление или специализированные переключатели.
ЦК для детей с тяжелыми нарушениями речи	Низкая	Отсутствие аудио-описаний, сложность восприятия информации о безопасности в интернете.	Необходимо ввести аудио-описания. Предоставить возможность использования голосовых ассистентов для интерактивного обучения. Добавление субтитров и жестового перевода к аудио- и видеоматериалам.
Раздел 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ			
ЦК для детей с ЗПР	Низкая	Сложность понимания логических структур и алгоритмов.	Введение пошаговых инструкций и упрощенных заданий.
ЦК для детей с ограничением слуха	Высокая	Отсутствие субтитров в видеоуроках, если таковые имеются.	Добавление субтитров и жестового перевода к видеоурокам.
ЦК для детей с ограничением двигательного аппарата	Низкая	отсутствие работы с графическими интерфейсами и программами, требующими точного и быстрого управления.	Использование программ с возможностью голосового управления и адаптивных интерфейсов. Насыщенность текстового материала, заменяющего голосовую информацию.
ЦК детей с тяжелыми нарушениями речи	Низкая	отсутствие работы с графическими элементами и интерфейсами.	Разработать аудио-курсы. Использовать специализированные программы, такие как экранные дикторы, которые облегчат восприятие информации и участие в обучении.

<i>Раздел 3. РОБОТЫ В НАШЕЙ ЖИЗНИ</i>			
<i>ЦК для детей с ЗПР</i>	<i>Средняя</i>	<i>Сложность понимания функций и возможностей роботов.</i>	<i>Использование визуальных и тактильных материалов для лучшего понимания.</i>
<i>ЦК для детей с ограничением слуха (глухих или почти глухих)</i>	<i>Средняя</i>	<i>Отсутствие субтитров или жестового перевода при использовании аудио- и видеоматериалов.</i>	<i>Добавление субтитров и жестового перевода к аудио- и видеоматериалам. Насыщенность текстового материала, заменяющего голосовую информацию.</i>
<i>ЦК для детей с ограничением двигательного аппарата</i>	<i>Средняя</i>	<i>Необходимость физического взаимодействия с роботами или устройствами для выполнения заданий.</i>	<i>Введение альтернативных методов управления роботами, таких как голосовое управление или использование адаптивных устройств.</i>
<i>ЦК для детей с тяжелыми нарушениями речи</i>	<i>Низкая</i>	<i>требуется дополнительная информация о его содержании и методиках обучения.</i>	<i>Введение аудиоконтента для возможности повторения за диктором роботом.</i>
<p><i>Общий вывод:</i> Для детей с ЗПР текущий учебный материал ЦК требует значительных адаптаций. Необходимо упрощение материала, введение пошаговых инструкций и использование визуальных и тактильных подсказок для обеспечения доступности материала. Для детей с ограничениями слуха материал в целом может быть пригодным, но требуются некоторые адаптации, такие как добавление субтитров и жестового перевода к аудио- и видеоматериалам. Для детей с ограничениями двигательного аппарата текущий учебный материал требует значительных адаптаций. Необходимо внедрение адаптивных устройств и интерфейсов, а также возможностей голосового управления для обеспечения доступности материала. Для детей с нарушением речи, что существует потребность в значительных улучшениях и адаптации учебного контента и методологии для обеспечения доступности и эффективности обучения детей с тяжелыми нарушениями речи в этих разделах.</p>			

На основе проведенного анализа определен перечень элементов цифрового контента.

Результаты и дискуссия

1. Определение перечня и классификации элементов цифрового контента

Проектируемые нами учебно-методические материалы и мобильное приложение для планшетов и телефонов, адаптированного на различные операционные системы, при использовании дополненной реальности (AR) позволят повысить активность детей с ООП при обучении курсу «Цифровая грамотность» в младшей школе (1-4 класс) и изучать учебный материал наравне с учащимися, не имеющих ограниченных возможностей здоровья, т.е. в инклюзивном образовании, а также их можно использовать и при дистанционном обучении.

В помощь учителю и ученику предоставляем следующий перечень элементов цифрового контента мобильного приложения для смартфонов и планшетов с элементами дополненной реальности (AR):

- демонстрации динамических и интерактивных трехмерных моделей изучаемого материала;
- манипулирования виртуальными объектами с помощью жестов рук и использования их для улучшения ощущения и определения размера, формы и положения объектов;
- лицезрения добавленной различной информации об объекте на экране, если навести камеру телефона или планшета на реальный объект;
- попрактиковаться в полученных теоретических знаниях абсолютно безопасно (например, видеть, как работают отдельные части компьютера, наглядно представлять алгоритмы или кодирование информации, и т.д.);

- с помощью встроенных камер смартфона показывать прямо в учебных книгах анимированных персонажей на нужных страницах (например, использование сказочного дискурса, то есть многозначных символических образов и метафор сказок, сказочного повествования учебного материала).

2. Результаты анкетирования

Для получения достоверных результатов было реализовано анкетирование (рисунок 2, 3), опрос, беседа, видеоконференции с учителями и родителями детей младшей школы инклюзивного образования Республики Казахстан, которые на основе заданных вопросов позволили более подробно изучить данную проблематику. В исследовании участвовало 105 учителей, 80 родителей.

Анкетирование для учителей



Рисунок 2. Результаты анкетирования учителей

Анкетирование для родителей

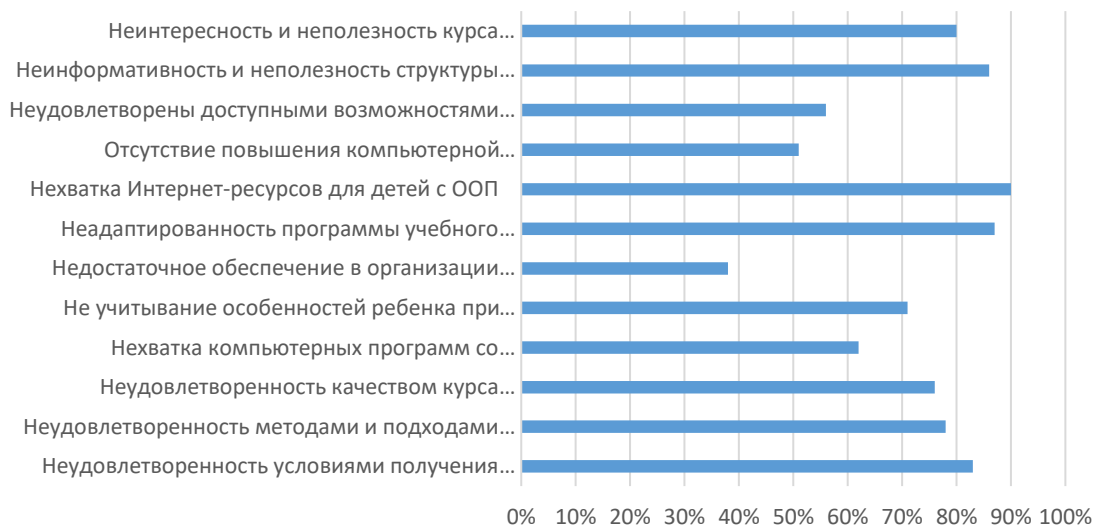


Рисунок 3. Результаты анкетирования родителей

Итоги исследования показали, что большинство респондентов выразили обеспокоенность ограниченным доступом к интернет-ресурсам, которые были бы адаптированы под потребности детей с ограниченными возможностями. Подавляющее большинство респондентов отметили необходимость адаптации учебников, чтобы они учитывали особенности детей с ООП. Многие родители и опекуны считают, что содержание курса "Цифровая грамотность" на данном веб-ресурсе не является информативным и не соответствует потребностям детей с ООП. Значительное число родителей выразили недовольство условиями, в которых их дети получают образование, подчеркивая

недостаточность адаптации и поддержки. Некоторые респонденты отметили, что курс "Цифровая грамотность" не стимулирует интерес детей с ООП и не приносит пользы в их образовательном процессе. Многие респонденты выразили недовольство методами и подходами, применяемыми при обучении детей с ООП. Значительное число родителей считают, что качество обучения в курсе "Цифровая грамотность" на уровне младшей школы оставляет желать лучшего. Некоторые родители отметили, что индивидуальные особенности и потребности их детей недостаточно учитываются в системе образования. Половина респондентов считают, что недостаточно существует компьютерных программ, которые бы имели специализированные возможности для детей с ООП. Около половины респондентов выразили недовольство доступностью образовательных возможностей для детей с ООП в сети Интернет. Некоторые родители считают, что обучение компьютерной грамотности для их детей с ООП оказывается неэффективным. Некоторые респонденты указали на недостаточное обеспечение условий доступности, которые позволили бы детям с ООП получать образовательные услуги наравне с другими.

Из результатов видно, что существует ряд серьезных проблем и недостатков в образовательной системе, связанных с обучением детей с ограниченными возможностями. Эти проблемы включают в себя нехватку ресурсов, неадаптированные программы и содержание, а также ограниченный доступ к образовательным возможностям.

Заключение

Для достижения поставленных целей мы применили разнообразные методы, включая анализ существующего цифрового контента, опросы и анкетирование родителей и преподавателей, а также анализ законодательных документов Республики Казахстан.

В результате исследования были выявлены основные проблемы, связанные с цифровым контентом курса "Цифровая грамотность" при инклюзивном обучении. Эти проблемы касаются доступности и пригодности контента для детей с ограниченными возможностями (ООП).

Мы не только выявили проблемы, но и предложили пути их решения. Это может включать в себя адаптацию существующего контента, создание мобильного приложения для смартфонов и планшетов с учетом разработки дополненной реальности (AR), что может сделать обучение более интерактивным и увлекательным.

Проектируемая дополненная реальность (AR) поднимет метод обучения на новый уровень, приведет к большей вовлеченности детей с особыми потребностями, что в очередь, позволяет дольше сохранить их знания и навыки. В приложении дополненной реальности школьный материал будет превращен в трехмерные модели, добавляя визуальную поддержку изучаемой теме. Видение форм в трехмерных поперечных сечениях может помочь получить гораздо более основательные знания, чем чтение книги.

Дополненная реальность создает ощущение присутствия виртуального объекта в реальном мире. Дополненная реальность чрезвычайно помогает процессу обучения, так как создает более полную картину объекта. Поместив дополненную информацию рядом с соответствующим объектом, предложенное мобильное приложение поможет сократить время на поиск описания данного объекта, также это создаст более прочную связь между изображениями объекта и данными.

Результаты данного исследования могут быть важными для разработчиков образовательных программ и учебных материалов, а также для педагогов и родителей детей с ограниченными возможностями, чтобы обеспечить им более эффективное и инклюзивное обучение.

Благодарность

Статья выполнена на основе научного проекта, по грантовому финансированию научных и (или) научно-технических проектов на 2023–2025 годы (Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан), по теме: AP19678207 «Исследование и разработка программно-методической поддержки курса «Цифровая грамотность» в младшей школе инклюзивного образования с использованием дополненной реальности». Выражаем благодарность МНВО РК и руководству Казахского национального университета им. аль-Фараби за предоставленную возможность проведения научного исследования.

Список использованных источников:

- 1 Стратегический план 2025. Официальный информационный ресурс Премьер-Министра Республики Казахстан. URL: <https://primeminister.kz/ru/documents/gosprograms/stratplan-2025>.
- 2 Семаго Н.Я. и др. Инклюзивное образование как первый этап на пути к включающему обществу//Психологическая наука и образование.–2011.–Т. 16.–No. 1.–С. 51-59.
- 3 О правах ребенка в Республике Казахстан. Закон Республики Казахстан от 8 августа 2002 года N 345. ИПС “Әділет”. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z020000345_links.
- 4 Москочук А. Когда учебники в Казахстане полностью переведут в цифровой формат. Материалы Zakon.kz. URL: <https://www.zakon.kz/obshestvo/6401011-kogda-uchebniki-v-kazakhstan-polnostyu-perevedut-v-tsifrovoyformat.html>
- 5 Казахстанские школы обяжут создавать условия для особенных детей: Токаев подписал закон. /URL: Новости Усть-Каменогорска и ВКО YK-news.kz 27 июнь 2021, 12:25 Токаев подписал закон об инклюзивном образовании» Лента новостей Казахстана и мира - Kazlenta.kz.
- 6 Новые подходы к обучению и поддержка молодых талантов — МОН РК о развитии отечественного образования и науки. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/novye-podhody-k-obucheniyu-i-podderzhka-molodyh-talantov-mon-rk-o-razvitiy-otechestvennogo-obrazovaniya-i-nauki-9102812>.
- 7 Инклюзивное образование: как в Казахстане учат детей с особыми потребностями? Автор: Наталья Батракова, 27-августа 2019, Informburo. <https://informburo.kz/cards/inklyuzivnoe-obrazovanie-kak-v-kazahstane-uchat-detey-s-osobymi-obrazovatelnyimi-potrebnostyami.html>.
- 8 Новые подходы к обучению и поддержка молодых талантов – МОН РК о развитии отечественного образования и науки. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/novye-podhody-k-obucheniyu-i-podderzhka-molodyh-talantov-mon-rk-o-razvitiy-otechestvennogo-obrazovaniya-i-nauki-9102812> от 09.11.2021 г.
- 9 Lisa Paleczek a,c,* , Daniela Ender a,b,c , Jessica Berger a,c , Katharina Prinz a , Susanne Seifert a. A feasibility study of digital content use in inclusive, Austrian primary school practice International Journal of Educational Research. Volume 112, 2022, 101938. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101938>.
- 10 J.Nielsen. Usability 101: Introduction to usability. January 3 (2012). <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>.
- 11 F. Amadiou, C. Pecoste, C. Mariné, C. van de Leemput, C. Lescarret. Effects of studying tasks compatibility with tablets on their acceptance. I.R. Management Association (Ed.), Mobile devices in education, IGI Global (2020), pp. 697-720, 10.4018/978-1-7998-1757-4.ch041.
- 12 Методологические аспекты цифровой визуализации объектов на основе технологии дополненной реальности. Научно-исследовательская работа. Руководитель проекта: Азамат. Отчет 50 с., 1 рис., 2 табл., 11 источников, 4 прил. г. Нур-Султан - 2019 URL: https://academy.kz/images/easyblog_images/412/aimyshev.docx
- 13 AR TUTOR - бесплатное мобильное приложение для обучения и социальной адаптации детей с особенностями психического развития. Москва: Автономная некоммерческая организация Центр по разработке и внедрению цифровых технологий и программ по реабилитации "Без ограничений". URL: <https://artutor.ru/>.
- 14 В Астане создана школьная лаборатория виртуальной реальности — NURLab. Copyright©2022we project.media30.03.2019г. URL: <https://weproject.media/articles/detail/v-astane-sozdana-shkolnaya-laboratoriya-virtualnoy-realnosti-nurlab/>
- 15 Рекомендации МОН РК: образовательные ресурсы для школьников... Материалы Inform.kz. URL: https://www.inform.kz/ru/rekomendacii-mon-rk-obrazovatel-nye-resursy-dlya-shkolnikov-i-studentov_a3626029.

References:

- 1 Strategic Plan 2025. Official information resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan. URL: <https://primeminister.kz/ru/documents/gosprograms/stratplan-2025>.
- 2 Semago N.Ya. and others. Inclusive education as the first stage on the path to an inclusive society//Psychological science and education.–2011.–Т. 16.–No. 1.–S. 51-59.
- 3 On the rights of the child in the Republic of Kazakhstan. Law of the Republic of Kazakhstan dated August 8, 2002 N 345. IPS “Adilet”. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z020000345_links.
- 4 Moskovchuk A. When textbooks in Kazakhstan will be completely transferred to digital format. Materials from Zakon.kz. URL: <https://www.zakon.kz/obshestvo/6401011-kogda-uchebniki-v-kazakhstan-polnostyu-perevedut-v-tsifrovoyformat.html>
- 5 Kazakhstani schools will be required to create conditions for special children: Tokayev signed the law. /URL: News from Ust-Kamenogorsk and East Kazakhstan region YK-news.kz June 27, 2021, 12:25 Tokayev signed the law on inclusive education” News feed of Kazakhstan and the world - Kazlenta.kz.
- 6 New approaches to learning and support for young talents - Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan on the development of domestic education and science. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/novye-podhody-k-obucheniyu-i-podderzhka-molodyh-talantov-mon-rk-o-razvitiy-otechestvennogo-obrazovaniya-i-nauki-9102812>.

7 *Inclusive education: how are children with special needs taught in Kazakhstan?* Author: Natalya Batrakova, August 27, 2019, Informburo. <https://informburo.kz/cards/inklyuzivnoe-obrazovanie-kak-v-kazahstane-uchat-detey-s-osobymi-obrazovatelnyimi-potrebnostyami.html>.

8 *New approaches to learning and support for young talents - Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan on the development of domestic education and science.* URL: <https://primeminister.kz/ru/news/reviews/novye-podhody-k-obucheniyu-i-podderzhka-molodyh-talantov-mon-rk-o-razviti-otechestvennogo-obrazovaniya-i-nauki-9102812> from 09.11.2021

9 Lisa Paleczek a,c,* , Daniela Ender a,b,c , Jessica Berger a,c , Katharina Prinz a , Susanne Seifert a. *A feasibility study of digital content use in inclusiveness, Austrian primary school practice* International Journal of Educational Research. Volume 112, 2022, 101938. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101938>.

10 J.Nielsen. *Usability 101: Introduction to usability.* January 3 (2012). <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>.

11 F. Amadiou, C. Pecoste, C. Mariné, C. van de Leemput, C. Lescarret. *Effects of studying tasks compatibility with tablets on their acceptance.* I.R. Management Association (Ed.), *Mobile devices in education*, IGI Global (2020), pp. 697-720, 10.4018/978-1-7998-1757-4.ch041.

12 *Methodological aspects of digital visualization of objects based on augmented reality technology. Research work. Project manager: Azamat. Report 50 pp., 1 figure, 2 tables, 11 sources, 4 appendices.* Nur-Sultan - 2019 URL: https://academy.kz/images/easyblog_images/412/aimyshev.docx

13 *AR TUTOR is a free mobile application for the education and social adaptation of children with mental disabilities.* Moscow: Autonomous non-profit organization Center for the development and implementation of digital technologies and rehabilitation programs "Without Limits". URL: <https://artutor.ru/>.

14 *A school virtual reality laboratory - NURLab - has been created in Astana.* Copyright©2022we project.media03/30/2019 URL: <https://weproject.media/articles/detail/v-astane-sozdana-shkolnaya-laboratoriya-virtualnoy-realnosti-nurlab/>

15 *Recommendations of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan: educational resources for schoolchildren...* Materials from Inform.kz. URL: https://www.inform.kz/ru/rekomendacii-mon-rk-obrazovatel-nye-resursy-dlya-shkol-nikov-i-studentov_a3626029.

М.С. Қаратаева^{1*}, К.М. Беркімбаев²

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ, Қазақстан

²Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ, Қазақстан
** e-mail: mondra-mali@mail.ru

STEM ТЕХНОЛОГИЯСЫН ОҚЫТУДЫҢ ӘДІС-ТӘСІЛДЕРІ

Аңдатпа

STEM білім беру – ғылымды, технологияны, инженерияны және математиканы біріктіретін оқытудың динамикалық тәсілі. Информатикаға қолданылғанда, ол білімалушыларға проблеманы шешу дағдыларын, сыни тұрғыдан ойлауды және кодтауда практикалық тәжірибені дамытуға мүмкіндік береді. Бұл мақалада информатикада STEM білім беруді оқытудың әртүрлі тиімді әдістері зерттеледі, жобада оқытудағы бағдарламаны кодтау қиындықтарын, өздігінен жүретін робототехниканы оқыту ресурстарының маңыздылығы ашып көрсетіледі. Мақалада, STEM білім беру технологиясын ашып көрсету басты мақсатымыз болды. Тақырыпқа сай келесідей зерттеу міндеттерін анықтадық: информатика бойынша STEM білім берудегі әртүрлі оқыту әдістерінің тиімділігін зерттеу, жобалық оқытудың (PBL) информатиканы оқыту нәтижелеріне әсерін бағалау, кодтау дағдылары мен проблемаларды шешу қабілеттерін жетілдірудегі кодтау тапсырмалары мен конкурстардың тиімділігін бағалау, ынтымақасиық оқыту, информатиканың басқа пәндермен кіріктіріп оқытудың артықшылықтарын анықтау, робототехниканы информатика сабақтарына енгізудің әсерін зерттеу, информатика саласындағы дағдыларды дамытудағы дербес оқу ресурстарының тиімділігін талдау.

Түйін сөздер: STEM технологиясы, оқыту әдістері, есептеу техникасы, жобалық оқыту, кодтау қиындықтары, ынтымақасиық оқыту, кіріктірілген оқыту технологиясы.

Аннотация

М.С. Қаратаева¹, К.М. Беркімбаев²

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г.Шымкент, Казахстан

²Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан

МЕТОДЫ И ПРИЕМЫ ОБУЧЕНИЯ STEM-ТЕХНОЛОГИЯМ

STEM-образование – это динамичный подход к обучению, который объединяет науку, технологии, инженерию и математику. Применительно к информатике это позволяет учащимся развивать навыки решения проблем, критическое мышление и практический опыт программирования. В этой статье исследуются различные эффективные методы преподавания STEM в области информатики, освещаются проблемы программирования в проектном обучении, а также важность ресурсов обучения автономной робототехники. В статье главной целью было раскрыть технологию STEM-образования. Согласно теме, мы определили следующие исследовательские задачи: изучить эффективность различных методов обучения в STEM-образовании по информатике, оценить влияние проектного обучения (PBL) на результаты обучения информатике, оценить эффективность задач и соревнований по кодированию в улучшении навыков кодирования и способности решать проблемы, совместное обучение, интеграция информатики с другими предметами, определение преимуществ обучения, изучение влияния внедрения робототехники на занятиях по информатике, анализ эффективности независимых учебных ресурсов в развитии навыков в области информатики.

Ключевые слова: технология STEM, методы обучения, вычисления, проектное обучение, задачи кодирования, совместное обучение, встроенные технологии обучения.

Abstract

METHODS AND TECHNIQUES OF TEACHING STEM TECHNOLOGY

Karatayeva M.S.¹, Berkimbayev K.M.²

¹South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

²International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan

STEM education is a dynamic approach to learning that integrates science, technology, engineering, and mathematics. When applied to computer science, it allows students to develop problem-solving skills, critical thinking, and hands-on experience in coding. This article explores various effective methods of teaching STEM education in computer science, highlights the challenges of programming programming in project learning, and the importance of autonomous robotics learning resources.

In the article, our main goal was to reveal the technology of STEM education. According to the topic, we identified the following research tasks: to study the effectiveness of different teaching methods in STEM education in computer science, to evaluate the impact of project-based learning (PBL) on the results of computer science education, to evaluate the effectiveness of coding tasks and competitions in improving coding skills and problem-solving abilities, cooperative learning, integration of computer science with other subjects determining the advantages of training, studying the impact of introducing robotics to computer science classes, analyzing the effectiveness of independent learning resources in the development of skills in the field of computer science.

Keywords: STEM technology, teaching methods, computing, project-based learning, coding challenges, cooperative learning, embedded learning technology.

Кіріспе

Технология мен инновацияға негізделген дәуірде информатика білімі білім беру ландшафтының маңызды құрамдас бөлігі болды. Білім алушыларын цифрлық болашаққа дайындау үшін оқытушылар STEM (ғылым, технология, инженерия және математика) біліміне көбірек бет бұруда - сыни ойлау мен проблемаларды шешу дағдыларын ынталандыратын пәнаралық тәсіл. Информатикаға қатысты STEM білімі Білім алушыларға осы үнемі дамып келе жатқан салада жетістікке жету үшін қажетті білім мен практикалық тәжірибе жүргізілді. Экспериментке қатысушылар, информатика білім беру бағдарламасы бойынша ЖОО студенттері мен орта мектеп мұғалімдері болды. Оған қажетті деректерді жинау, алдын ала және қорытынды бағалау үшін, білім алушылар информатика саласындағы алғашқы білімдері мен дағдыларын бағалау сынақтарынан өтеді. Оқытудың әртүрлі әдістерін қолданып STEM технологиясының ерекшеліктерімен танысқаннан кейін олардың білімі мен дағдыларын тағы бір рет бағалау үшін қорытынды сынақтар өткізілді.

Білім алушылар, STEM технологиясына оқыту әдістері мен тәсілдерін әрі оны пайдаланудың тиімділігін анықтау үшін кері байланыс жасап, сауалнамаларды толтырды. Оқытудың әрбір әдісінің енгізілуі мен нәтижелілігін бағалау үшін сыныпта бақылаулар жүргізілді.

Деректерді сандық талдау арқылы, STEM технологиясына оқыту әдісі мен тәсілдерін қолдану білім алушылардың игерген, білімі мен дағдыларына әсерін өлшеу үшін бағалауға дейінгі және соңғы қорытынды ұпайлар салыстырылады. Т-тесттер сияқты статистикалық әдістер қолданылады. Ал, сапалық талдау арқылы, білім алушылардың тәжірибесі мен білімді игеру туралы сапасын анықтау үшін, білім алушылардың сауалнамалары мен бақылау жауаптары талданды.

Нәтижеде, бағалауға дейінгі және соңғы қорытынды нәтижелерді талдау жобалық проблемалық оқыту (PBL) білім алушылардың STEM білімі мен проблемаларды шешу дағдыларын айтарлықтай жақсартқанын көрсетті. Кодтау тапсырмалары мен жарыстар кодтау дағдыларын арттырып, бәсекелестік рухын тәрбиелейтіні анықталды, бұл кодтау қабілеттерін жақсартуға әкеледі. Ынтымақтастық оқыту білім алушылардың сабаққа қатысуына және командалық жұмыс дағдыларына оң әсер етті, бұл информатика саласындағы білімді тереңірек игеруге әкелді. Робототехниканы оқытуда кіріктірілген оқыту әдісі білім алушыларды шығармашылық қабілеті мен проблемаларды шешуге ынталандырып, сонымен қатар, білім алушылардың информатиканың нақты қолданылуын түсінуін жақсартты. Өзін-өзі оқытуға арналған ресурстар икемділікті қамтамасыз етеді және білім алушылардың дербестігін арттыруға әкелетін жеке оқу стильдерін ескереді. Бұл зерттеу әртүрлі оқыту әдістерінің тиімділігіне дәлелдер келтіре отырып, STEM технологиясына оқыту әдістерін қолдану арқылы білім алушылардың білім сапасын арттыруда және информатика әдістемесі бойынша өзіндік үлес қосады. Зерттеу көрсеткендей, оқытудың әртүрлі тәсілдері білім алушылардың түрлі деңгейлері мен бейімділіктеріне сәйкес келуі мүмкін. Сонымен қатар, ол информатика білімін жақсарту үшін практикалық тәжірибені, конкурстарды және өзін-өзі дамыту ресурстарын біріктіруде өте құнды, әрі бұл ғылым үшін маңызды болып табылады. Зерттеудің нәтижелері оқытушыларға, оқу жоспарын жасаушыларға және ізденушілерге құнды ақпарат береді. Олар информатика мен STEM біліміне көп қырлы көзқарастың маңыздылығын атап көрсетеді, бұл инклюзивті және тиімді білім беру ортасын құруға ықпал етеді. Сайып келгенде, зерттеу STEM технологиясына оқытуда дамытуға және білім алушылардың информатика және онымен байланысты салалардағы мансапқа болашақ дайындығына ықпал етеді.

Зерттеу әдіснамасы

Информатика саласындағы STEM технологиясы дәстүрлі оқыту әдістерінен асып түседі және интерактивті және динамикалық оқу ортасын құруға бағытталған. Мұнда біз информатика саласындағы STEM технологиясына оқыту әдістерін қарастырамыз және оқытушылар білім

алушыларын тарту және пәнді тереңірек түсінуге көмектесу үшін пайдалана алатын әдістер мен тәсілдерді негізге аламыз.

Жобалық оқыту: Информатика саласындағы STEM білім беруде негізгі әдістердің бірі - жобалық оқыту (PBL). PBL білім алушыларын нақты өмірдік жағдаяттарды шешуге бағыттайды, онда олар нақты мәселелерді шешу үшін бағдарламалау дағдыларын қолдануы керек. Веб-сайт құру, мобильді қосымшаны әзірлеу немесе қарапайым ойын құру болсын, PBL білім алушыларын сыни тұрғыдан ойлауға және бірлесіп жұмыс істеуге баулиды. Осы жобалар арқылы білім алушылар өздерінің бағдарламалау дағдыларын жетілдіріп қана қоймай, олардың туындыларының өмірге келуін бақылай отырып, жетістік сезімін сезінеді [1].

Кодтау бойынша тапсырмалар мен жарыстар ұйымдастыру: Бағдарламалау тапсырмалары мен конкурстары Білім алушыларға бағдарламалау дағдыларын тексеруге арналған тамаша платформа ұсынады. LeetCode, Codeforces және HackerRank сияқты платформалар әртүрлі шеберлік деңгейлеріне сәйкес келетін кодтау тапсырмаларының кең ауқымын ұсынады. Бұл платформалар салауатты бәсекелестікті ынталандырып қана қоймайды, сонымен қатар Білім алушыларға проблемаларды шешу дағдыларын жетілдіруге және құрдастарынан үйренуге мүмкіндік береді.

Ынтымақтастық оқыту: ынтымақтастық педагогикасы негізінде информатика саласындағы STEM білімінің негізгі элементі болып табылады. Топтық жобалармен жұмыс жасау немесе жұптық бағдарламалауға қатысу арқылы білім алушылар тиімді қарым-қатынас жасауды, пікір алмасуды және бір-бірінің күшті жақтарын пайдалануды үйренеді. Кіріктірілген оқыту қоғамдастық сезімін дамытады және білім алушыларын әртүрлі көзқарастармен таныстырады, оларды жан-жақты информатика мамандарына айналдырады.

Робототехниканы кіріктіре ақытуды енгізу: Робототехника информатика саласындағы STEM білімі үшін қызықты бастау нүктесін ұсынады. LEGO Mindstorms және Arduino сияқты жиынтықтар броботтарды құру және бағдарламалау кезінде бағдарламалау, электроника және инженерия салаларына енуге мүмкіндік береді. Бұл практикалық тәжірибе информатика тұжырымдамаларын өмірге әкеліп қана қоймайды, сонымен қатар автоматтандыру мен робототехника мүмкіндіктеріне деген қызығушылықты оятады.

Өзіндік оқуға арналған ресурстар. Цифрлық дәуірде өзіндік оқу барған сайын қол жетімді бола бастады. Khan Academy, Codecademy және Coursera сияқты платформалардағы онлайн ресурстар мен оқу құралдары Білім алушыларға информатиканы өз қарқынымен үйренуге мүмкіндік береді. Бұл ресурстар білім алушыларға өзіндік білім алуға қызығушылықтарын арттырып, мақсатты жоспар жасауға мүмкіндік беретін көптеген курстарды ұсынады.

Қорыта келе, информатика саласындағы STEM технолгиясы - бұл білім алушыларын цифрлық дәуірде табысқа жету үшін қажетті дағдылар мен біліммен қаруландыратын оқытудың трансформациялық тәсілі. Жобалық оқытуды, кодтау тапсырмаларын, ынтымақтастықты, робототехниканы және өзіндік оқу ресурстарын біріктіру арқылы оқытушылар білім алушыларға информатиканың үнемі дамып келе жатқан әлемінде табысқа жетуге мүмкіндік беретін бай және қызықты білім беру тәжірибесін жасай алады.

Болашақ информатика пәні мұғалімдерін даярлауда STEM технолгиясының бес негізгі оқыту әдіс-тәсілдері негізге алынды [2].

1. *Жобалық оқыту.* Мұнда проблеманы шешуге бағытталған оқыту (PBL) технологиясы: PBL информатиканы оқыту нәтижелеріне қалай әсер ететінін зерттеу. Проблеманы шешуге бағытталған оқыту (PBL) – бұл нақты әлемдегі күрделі мәселелер білім алушылардың фактілер мен тұжырымдамаларды тікелей ұсынудан гөрі ұғымдар мен принциптерді игеруіне ықпал ету құралы ретінде қолданылатын оқыту әдісі. Курстың мазмұнынан басқа, PBL сыни ойлау дағдыларын, мәселелерді шешу қабілеттерін және қарым-қатынас дағдыларын дамыта алады. Ол сондай-ақ топтарда жұмыс істеуге, зерттеу материалдарын іздеуге және бағалауға және өмір бойы білім алуға мүмкіндіктер бере алады.

Болашақ информатика пәні мұғалімдерін даярлауда сабақтарда қолданылатын PBL технологиясы стандартты схема келесідей көрінеді:

Мәселені өз бетінше зерттеу.

Мәселені шешу әдістерін анықтау. Білім алушылардан, тиісінше, STEM немесе STEAM туралы білімді қайдан аламыз?

Ұжымдық брейнсторминг. Білім алушылар (алдын-ала топтарға бөлінген) бір-бірімен өз идеялары мен пікірлерімен бөліседі.

Идеяларды көрнекі пішінге келтіру. Білім алушыларға рефераттар, тақырып бойынша таңдалған әдебиеттерге талдау жасалады.

Жұмыстың тұсаукесері. Білім алушылар презентациялар мен баяндамалар жасайды.

Жеке зерттеу. Білім алушылар, университет кітапханасы мен Интернет желісі көмектеседі.

Қорытындылау. Топтар арасында алынған мәліметтермен алмасу, оқытушылар тапсырманың дұрыс нұсқаларын жариялау. Дәл осы кезеңде білім алушылар жаңа тапсырма алады.

2. *Кодтау қиындықтары мен жарыстары:* кодтау дағдылары мен проблемаларды шешу қабілеттерін арттырудағы кодтау қиындықтарының тиімділігін бағалауға көмектеседі. Мысалы, түсті кодтау үшін, екілік жүйені қолдана отырып, түрлі-түсті кескіндегі ақпаратты кодтау процесі келесідей жүреді. Бастапқыда фотосурет көптеген кішкентай түсті нүктелерге-пиксельдерге бөлінеді. Содан кейін әр пиксельдің түсі екілік кодты пайдаланып құрылғыға жазылады. Егер фотосуреттің өлшемі 325×325 болса, онда ол 105625 байт матрица түрінде пайда болады, оны тігінен нүктелер санын көлденең нүктелер санына көбейту арқылы аламыз. Кескінді нүктелерге орналастыру кез - келген заманауи фото немесе бейне құрылғысының көмегімен мүмкін болады. Егер камера сипаттамасы оның 12 Mega Pixels екенін көрсетсе, бұл камера алынған суретті екілік ақпаратты кодтау жүйесінде жазу үшін 12 миллион пиксельге жайып жатқанын білдіреді. Құрылғы деректерді беру үшін фотосуретті бөлетін пикселдер саны неғұрлым көп болса, декодтаудан кейін, экранда ойнағанда немесе фотосуретті басып шығарғаннан кейін соғұрлым шынайы, жарқын, айқын сурет пайда болады [3].

Айта кету керек, кескінді екілік кодпен кодтау сапасы оның соғатын нүктелерінің санымен, сондай-ақ кодтау кезінде пикселдердің түстің әртүрлілігімен анықталады. Екілік кодтау кезінде түстерді жазудың бірнеше әдісі бар, ең танымал нұсқа – RGB жүйесі (ағылшын тіліндегі түстердің бірінші әріптері бойынша: қызыл – қызыл, жасыл – жасыл, көк – көк). Осы 3 түсті әртүрлі арақатынаста араластырған кезде кескіндерді кодтау кезінде әртүрлі түстер мен реңктер пайда болады. RGB жазу алгоритмі-әр пиксель екілік кодта оның құрамындағы қызыл, жасыл және көк түстердің мөлшерін көрсете отырып бекітіледі. Әр пиксель кодталған биттер саны неғұрлым көп болса, соғұрлым көп реңк опцияларын код арқылы беруге болады, яғни фотосуреттің түс қанықтылығының нұсқалары соғұрлым көп болады, кескін түсінің тереңдігі соғұрлым көп болады.

Алынған сурет растрлық кескін деп аталады, бұл экранда, қағазда және басқа құрылғыда тор, пиксель мозаикасы арқылы алынған кескінді білдіреді. Бұл кескінді қалыптастыру әдісі ең көп таралған.

Ақпаратты кодтау кезеңдері:

- Кодталатын ақпараттың көлемін анықтау;
- Ақпаратты жіктеу және жүйелеу;
- Кодтау жүйесін және кодтау белгілерін анықтау;
- Тікелей кодтау.

Мысалға бір есепті кодтау жүйесі бойынша қарастырып көрсек. Windows 1251 кестелік кодын пайдаланып, «КОМПЬЮТЕР» деген сөзді кодтаңыз (Кесте 1).

Кесте 1. Шешімі

К	О	М	П	Ь	Ю	Т	Е	Р
234	206	204	239	252	254	242	197	208

Жауап: 234206204239252254242197208

Осындай тапсырмаларды беру арқылы түрлі жарыстарды ұйымдастырып, білім алушылардың танымдық қызығушылығын арттырамыз.

3. *Ынтымақтастық оқыту технологиясы* – білім алушы мен оқытушының арасындағы қарым – қатынастың тең дәрежеде, бірлік одақта жүзеге асуы.

Шетелдік әдебиеттерде бұл әдістің алғашқы сипаттамалары 1970 жылдардың аяғы мен 1980 жылдардың басында әлемнің әртүрлі елдерінде (Ұлыбритания, Канада, Батыс Германия, Австралия, Нидерланды, Жапония, Израиль және т.б.) басылымда пайда болды. Бірақ ынтымақтастықта оқытудың негізгі идеологиясын Джонс Хопкинс университетінің американдық тәрбиешілерінің үш тобы (Р.Славин, 1990), Миннесота университетінің (Роджерс Джонсон және Дэвид Джонсон, 1987) және

Дж.Аронсон (1978, Калифорния), сондай-ақ Тель-Авив университетінің Шломо Шаран тобы, Израиль (1988). Student Team Learning (STL, тотық оқыту) [4].

К.Д.Ушинский, Н.П.Пирогов, Л.Н.Толстой, С.Т.Шацкий, В.А.Сухомлинский, А.С.Макаренко, Ж.-Ж. Руссо, Я.Корчак, К.Роджерс, Э.Берн идеяларының негізінде ынтымақтастық педагогика туындады.

Ынтымақтастық педагогикасының 3 мақсаттық бағыты анықталған:

1. Педагогикалық талап етуден педагогикалық қарым-қатынасқа көшу.
2. Білім алушыларға ізгілік-жеке тұлғалық тұрғысынан қарау.
3. Оқыту мен тәрбиенің бірлігі.

Топтық оқыту әдісінің бұл нұсқасы Джонс Хопкинс университетінде жасалған. 1. Шағын топтарда ынтымақтастықта оқытуды ұйымдастыру (STAD, Славин, 1986) төрт адамнан тұратын білім алушылар тобын қарастырады (әр түрлі деңгейдегі ұлдар мен қыздар). Мұғалім жаңа материалды түсіндіреді, содан кейін білім алушылар топтарда оны бекітуді, түсінуге тырысуды, барлық мәліметтерді түсінуді ұсынады. Психология тілінде іс-әрекеттің индикативті негізін қалыптастыру бойынша жұмыс ұйымдастырылады (бірақ әр студент үшін). Топтарға белгілі бір тапсырма, қажетті тіректер беріледі. Тапсырма бөлімдер бойынша (әр білім алушы өз бөлігімен айналысады) немесе "айналмалы үстел" арқылы орындалады (әрбір келесі тапсырманы келесі студент орындайды, күшті студент немесе әлсіз бастай алады). Бұл жағдайда кез-келген тапсырманың орындалуын білім алушы дауыстап түсіндіреді және бүкіл топ бақылайды. Барлық топтардың тапсырмаларын аяқтағаннан кейін, әр сабақтағы оқытушы әр түрлі топтардың осы тапсырманы орындауы туралы жалпы талқылауды ұйымдастырады (егер тапсырма барлық топтар үшін бірдей болса, мысалы, жаттығу немесе тапсырма, тапсырмалар сериясы) немесе тапсырмалар әр түрлі болса, әр топтың тапсырмаларын қарастыру. Оқытушы материалды барлық білім алушылар игергеніне көз жеткізгенде, ол жаңа материалды түсіну мен игеруді тексеруге тест береді. Тест тапсырмаларында жеке, топтан тыс жұмыс істейді. Сонымен бірге, оқытушы, әрине, тапсырмалардың күрделілігін ажыратады. Жеке жұмыс бағалары (тест) топта жинақталады және жалпы бағалау жарияланады [5].

4. *Робототехниканы кіріктіре оқыту*: информатика сабақтарына робототехника интеграциясының әсерін зерттеу. Информатика бойынша білім беруде кіріктірілген оқудың артықшылықтарын бағалау.

Кіріктіру, яғни интеграция (лат. *integratio*-қосылыс, қалпына келтіру) - олардың өзара тәуелділігі мен толықтырылуына негізделген жүйенің бұрын бөлінген бөліктері мен элементтерінің біртұтас тұтастығына бірігу. Кіріктірілген оқытуды ұйымдастыру бойынша С.М.Гапеенков пен Г.Ф. Федоренко еңбектерінде қарастырылады. Интеграция принципі оқу процесінің барлық компоненттерінің, жүйенің барлық элементтерінің, жүйелер арасындағы байланыстың өзара байланысын болжайды, ол мақсат қоюды, оқу мазмұнын, оның формалары мен әдістерін анықтауда жетекші болып табылады. Кіріктіру - бұл белгілі бір саладағы жалпыланған білімнің бір оқу материалында мүмкіндігінше терең ену, бірігу [6].

Интеграция өзін-өзі жүзеге асыруға, өзін-өзі көрсетуге, мұғалімнің шығармашылығына мүмкіндік береді, қабілеттердің ашылуына ықпал етеді. Кіріктірілген сабақтардың артықшылықтары:

– оқу мотивациясын арттыруға, білім алушылардың танымдық қызығушылықтарын қалыптастыруға және дамытуға, әлемнің тұтас бейнесін қалыптастыруға және құбылысты бірнеше жағынан қарастыруға ықпал етеді;

– әдеттегі сабақтардан гөрі білім алушылардың коммуникативті құзыреттілігін, жалпы білім беру және пәннен тыс дағдыларын дамытуға ықпал етеді;

– оқу-тәрбие процесін күшейтеді, шамадан тыс жүктемені алып тастайды.

– оқытушының кәсіби шеберлігінің өсуіне ықпал етеді, өйткені олар оқытуда белсенділік тәсілін жүзеге асыруды талап етеді [7].

Кіріктірілген сабақтардың заңдылықтары:

– бүкіл сабақ автордың дизайнына бағынады,

– сабақ негізгі оймен біріктіріледі (сабақ өзегі),

– сабақ біртұтас тұтастықты құрайды, Сабақтың кезеңдері бүтіннің үзінділері болып табылады,

Сабақтың кезеңдері мен компоненттері логикалық және құрылымдық тәуелділікте, сабақ үшін таңдалған дидактикалық материал дизайнға сәйкес болып, Ақпарат тізбегі "берілген" және "жаңа" ретінде ұйымдастырылады.

Мұғалімдердің өзара әрекеттесуі әртүрлі тәсілдермен құрылуы мүмкін:

– Олардың әрқайсысының тең үлестік қатысуымен тең;

– Оқытушылардың бірі жетекші, ал екіншісі ассистент немесе кеңесші бола алады;

– Бүкіл сабақты бір мұғалім екіншісінің қатысуымен белсенді бақылаушы және қонақ ретінде жүргізе алады.

Кіріктірілген бірнеше пәндік сабақта біреуі жетекші болады. Көбінесе кіріктірілген сабақтар жұптасады және оларды оқытушылар бірлесіп жүргізеді. Оқу пәндерінің әртүрлі интеграциясы мүмкін. Кіріктірілген сабақтар пәнаралық байланыс жүйесінің маңызды бөлігі болып табылады. Мұндай сабақтарға арналған Материал бізді қоршаған әлемде болып жатқан процестердің бірлігін көрсетеді, білім алушыларға әртүрлі ғылымдардың өзара байланысын көруге мүмкіндік береді. Негізгі назар белгілі бір білімді игеруге емес, бейнелі ойлауды дамытуға бағытталған. Интеграцияланған сабақтар сонымен қатар білім алушылардың шығармашылық белсенділігін міндетті түрде дамытуды көздейді. Бұл барлық оқу пәндерінің мазмұнын пайдалануға, ғылымның, мәдениеттің, өнердің әртүрлі салаларынан ақпарат тартуға, қоршаған өмірдің құбылыстары мен оқиғаларына жүгінуге мүмкіндік береді.

STEM немесе STEAM білім беруде ғылым, технология мен инженерия, математика мен бейнелеу өнері пәніндерінен алған білімдерін информатика сабақтарында қолданып, түрлі роботтар үлгілерін жобалауларына болады [8].

Білім алушылар:

1) Роботтарды жобалау және басқару негіздерін білу мен түсінуді көрсетеді;

2) Робототехника құралдарын пайдалана отырып, сабақты жобалау тәсілдерін қолданады;

3) LEGO MINDSTORMS EV3 конструкторы мен Arduino микроконтроллерін қолдана отырып, әртүрлі мәселелерді шешуге арналған роботтарды жобалау және бағдарламалау тәсілдерін зерттейді.

5. *Өздігінен оқу ресурстары*: информатика дағдыларын дамытудағы өздігінен жүретін оқу ресурстарының тиімділігін талдау [9].

STEM принциптері (ғылым, технология, инженерия және математика) информатикада шешуші рөл атқарады. Информатикадағы STEM технологиясы инновацияларға, мәселелерді шешуге және дағдыларды дамытуға ықпал ететін осы пәндердің қиылысы болып табылады. Міне, информатикадағы STEM технологиясының негізгі аспектілері:

Пәнаралық оқыту: STEM технологиясы пәнаралық оқытуға ықпал етеді. Информатикада бұл нақты есептерді шешу үшін математикалық ұғымдарды, ғылыми принциптерді және инженерлік дағдыларды біріктіруді білдіреді. Мысалы, алгоритмдерді әзірлеу (информатика) көбінесе оңтайландырудың математикалық тұжырымдамаларына сүйенеді.

Практикалық зерттеу: STEM технологиясы практикалық зерттеулер мен эксперименттерді ынталандырады. Информатикада бұл кодтау, аппараттық құралды конфигурациялау және бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу жобаларында көрінеді. Білім алушылар бағдарламалық жасақтаманы құру немесе аппараттық компоненттерді жобалау және құрастыру үшін кодтау дағдыларын қолдану арқылы тәжірибеден үйренеді.

Мәселелерді шешу: STEM технологиясы мәселелерді шешуге баса назар аударады. Информатика кодты түзету немесе тиімді Алгоритмдер құру болсын, мәселелерді анықтауды және шешуді қамтиды. STEM принциптері информатика саласындағы сыни ойлау мен проблемаларды шешу дағдыларын дамытады.

Нақты әлемдегі қосымшалар: STEM технологиясы сыныптағы оқытуды нақты әлемдегі қосымшалармен байланыстыруға тырысады. Информатикада бұл практикалық мәселелерді шешетін бағдарламалық қосымшаларды әзірлеуді немесе нақты сценарийлерді модельдеу үшін компьютерлік модельдерді қолдануды білдіреді.

Инновация және шығармашылық: STEM инновация мен шығармашылықты ынталандырады. Информатика білім алушыларына пайдаланушы интерфейстерін жобалау, бағдарламалық жасақтама немесе Алгоритмдер жасау кезінде шығармашылықпен ойлауға кеңес беріледі. Бұл жаңалық қарқынды дамып келе жатқан салада өте маңызды.

Топтық жұмыс және ынтымақтастық: бірлескен оқыту STEM технологиясының ажырамас бөлігі болып табылады. Информатика саласындағы жобалар көбінесе нақты даму орталарын көрсететін топтық жұмысты қамтиды. Мәселелерді бірлесіп шешу және жобалық жұмыс білім алушыларын информатика саласындағы болашақ мансапқа дайындайды.

Этикалық және әлеуметтік ойлар: STEM технологиясы этикалық және әлеуметтік салдарды да ескереді. Информатика саласында бұл деректердің құпиялылығы, киберқауіпсіздік және технологияны этикалық қолдану туралы пікірталастарды қамтиды. STEM білімі информатика саласындағы жауапты және этикалық мінез-құлыққа ықпал етеді.

Технологияны біріктіру: STEM технологиясының өзі оқуды жақсарту үшін технологиялық құралдар мен платформаларға сүйенеді. Информатика білімінде бұл кодтау платформаларын, модельдеу бағдарламалық жасақтамасын немесе интеграцияланған даму орталарын (IDE) кодтау мен бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу бойынша оқыту мен тәжірибе үшін пайдалануды қамтиды.

Бейімделу: STEM технологиясы білім алушыларға жаңа технологиялар мен құралдарды қолдануға үйрету арқылы бейімделуге ықпал етеді. Информатикада бағдарламалау тілдері, құрылымдар мен құралдар туралы хабардар болу өте маңызды. STEM принциптері білім алушыларын үнемі дамып келе жатқан салада жұмыс істеуге дайындайды.

Мансапқа дайындық: информатика саласындағы STEM технологиясының түпкі мақсаты – білім алушыларын технология саласындағы мансапқа дайындау. Бұған бағдарламалық жасақтама жасаушылар, деректер талдаушылары, киберқауіпсіздік сарапшылары және т.б. мансап кіреді. STEM технологиясы білім алушыларға цифрлық экономикада өркендеу үшін қажетті дағдылар мен білім береді [10].

Негізінде, информатика саласындағы білім берудегі STEM технологиясы білім алушыларға техникалық дағдылары ғана емес, сонымен қатар осы дағдыларды күрделі мәселелерді шешуге, жаңа технологияларға бейімделуге және олардың жұмысының этикалық және әлеуметтік салдарын ескеруге қабілетті информатика саласындағы тәжірибелі мамандар болуға мүмкіндік береді. Бұл информатика білімін 21 ғасырдың талаптарына сәйкес келтіреді және технологияны жақсы білетін, инновациялық және этикалық мамандардың жаңа буынын тәрбиелейді [11].

Зерттеу жұмысымыздың негізгі мақсаты STEM технологиясына оқыту әдістері мен тәсілдерін қолдана отырып білім алушылардың білімі мен дағдысын арттырудың тиімділігін бағалау болды. Біз әрбір әдіс пен тәсілдің білімалушының білімді игеруге, дағдыларды қалыптастыруға және оны дамытуға әрі оның жалпы оқу тәжірибесіне қалай әсер еткенін бағалауды мақсат еттік. Осы мақсатты шешу арқылы зерттеу барысында STEM технологиясына оқытудың әртүрлі әдістері мен тәсілдері жан-жақты білімді игеруіне қалай ықпал ететінін анықталды. Зерттеу нәтижесінде, тексерілген ғылыми болжамдар төмендегі мәліметтерді алуға мүмкіндік берді:

1 - ғылыми болжам: Жобалық оқыту, проблеманы шешуге бағытталған оқыту (PBL) білім алушылар арасында информатика және STEM технологиясы бойынша білім мен есептерді шешу дағдыларын айтарлықтай жақсартады.

2 - ғылыми болжам: Кодтау әдісі тапсырмалары мен жарыстар кодтау дағдыларын жақсартады және білім алушылардың проблемаларды шешу қабілеттерін дамытады.

3 - ғылыми болжам: Ынтымақтастықта оқыту білім алушылардың сабаққа қатысуы мен топтық жұмыс дағдыларына оң әсер етеді, бұл информатика білімін сақтаудың жоғарылауына әкеледі.

4 - ғылыми болжам: Робототехниканың интеграциясы шығармашылық пен есептерді шешуге ынталандырады және білім алушылардың информатиканың нақты әлемдегі қолданбаларын түсінуін жақсартады.

5 - ғылыми болжам: Өзіндік оқуға арналған ресурстарды пайдаланудың тиімділігі мен оның жеке тұлғаның білімді игеру стильдеріне сәйкес келеді, нәтижесінде STEM технологиясын үйренушілер өзін-өзі басқарады және білімді игеруге қызығушылығы мен ынтасы арта түседі.

Осы ғылыми болжамдарды эмпирикалық түрде тексеру арқылы бұл зерттеудің STEM технологиясын игеру үшін оқыту әдістері мен тәсілдерінің тиімділігін көрсетті. Нәтижелер Жоғары оқу орны педагогтары мен болашақ информатика мұғалімдерін STEM технологиясына оқытудың әдістері мен тәсілдерін білім беру тәжірибесінде қолдануда тиімділігін көрсетті.

Тәжірибелік зерттеу жұмысы, Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті мен М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінде болашақ информатика мұғалімдерін даярлау үдерісінде жүргізілді. Оқу күзгі семестрде басталып, келесі жазда аяқталды.

Материалдар мен деректер жинау

Алдын ала және кейінгі бағалаулар: Зерттеуде білім алушылардың STEM технологиясы бойынша білімдері мен дағдыларын бағалау үшін стандартталған бағалау алдындағы және кейінгі сынақтар қолданылды. Бұл бағалау бірнеше таңдау сұрақтарын, кодтау тапсырмаларын және мәселені шешу сценарийлерін қамтыды. Білім алушыларға, оқытушыларға STEM технологиясын оқыту әдістері мен тәсілдерін қолдану тәжірибелері туралы деректер жинау үшін сауалнамалар таратылды. Сұрақтар сабақта қолданылған әдістер мен тәсілдердің тиімділігі мен білім алушылардың сабаққа қатысу деңгейлерін және олардың оқу нәтижелерін анықтау бойынша қойылды.

Бақылау топтарында әрбір оқыту әдісі мен тәсілдердің орындалуы мен әсерін бағалау үшін сыныпта бақылау жүргізді. Бұл бақылаулар білім алушылардың сабаққа қатысуы, топтық динамика және оқытушы мен білімалушының өзара әрекеттесуі сияқты факторларды қарастырды. Зерттеуде деректерді талдаудың сандық және сапалық әдістері қолданылды. Сандық талдауда, әрбір оқыту әдісінің STEM технологиясы бойынша білімі мен дағдыларына айтарлықтай әсер еткенін анықтау үшін статистикалық әдістерді, соның ішінде t-тесттерін және ANOVA көмегімен бағалауға дейінгі және кейінгі ұпайлар талданды [12].

Сапалық талдау үшін, сапалы түсініктерді алу үшін сауалнама жауаптары мен бақылау деректеріне мазмұнды талдау жасалды. Бұл түсініктер білім алушылардың тәжірибесін, қабылдауын және әрбір оқыту әдісінің тиімділігінің нюанстарын түсінуге көмектесті.

Зерттеу нәтижелері

Нәтижелер бірінші ғылыми болжамды растады. *Жобалық оқытуда* проблеманы шешуге бағытталған оқыту (PBL) әдісі білім алушылардың STEM технологиясы бойынша білімін арттырып, есептерді шешу дағдыларына айтарлықтай оң әсер етті. Бағалаудан кейінгі ұпайлар эксперимент басындағы бағалау ұпайлармен салыстырғанда айтарлықтай жақсарғанын көрсетті.

Екінші, ғылыми болжам, *кодтау әдісі бойынша тапсырмалар мен жарыстар ұйымдастыру білім алушылардың* кодтау дағдыларын арттырып, проблемаларды шешу қабілеттерін дамыту мүмкіндіктерін көрсетті. Кодтау сынақтарына қатысқан білім алушылар кодтау дағдыларының жоғары деңгейін көрсетті.

Үшінші, ғылыми болжам бойынша, *ынтымақтастық оқыту* әдісі бойынша оқыту оң әсер етті. Ынтымақтастықпен оқытуға қатысқан білім алушылар белсенділіктің жоғары деңгейін көрсетті және топтық жұмыс дағдыларын арттырды, ол топтық іс-шараларға белсенді қатысуды көрсететін бақылау деректерімен расталды.

Төртінші, ғылыми болжам, нәтижелері расталды, яғни, *робототехниканы кіріктіре оқыту әдісі* шығармашылық пен мәселелерді шешуге білім алушылардың ынтымақтасуын жоғарылататыны анықталды. Сонымен қатар, білім алушылардың робототехника бойынша түрлі жобалары STEM технологиясының бүгінгі тұрмыста қажеттілігін тереңірек түсінетінін көрсетті.

Бесінші, ғылыми болжам да қолдау тапты. Өзіндік оқуға арналған ресурстарды пайдалану арқылы STEM технологияны игеруде өзін-өзі басқарып, білімді игеруге деген ынтымақтасуы, өзіндік оқу стильдерінің тиімділігін байқатты. Яғни, білім алушылардың сауалнамаға берген жауаптары өзіндік оқуға арналған ресурстарды қолданудың тиімділігін жоғары деңгейін көрсетті.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері информатика үшін STEM технологиясын оқытудың әдістері мен тәсілдерінің тиімділігін көрсетеді. Ол әртүрлі оқыту әдістері білім алушылардың STEM технологиясын игеруге деген қызығушылықтарын қанағаттандыру үшін көп қырлы тәсілді қолданудың маңыздылығын негіздейді. Нәтижеде, жобалап оқыту, кодтау тапсырмалары мен жарыс сабақтары, ынтымақтастық оқыту әдісі, Робототехниканы кіріктіре оқыту әдісі мен жобалар жасау және өзіндік оқуға арналған ресурстарды пайдалану STEM технологияны қолданудың тиімділігін көрсетті. Маңыздысы, бұл зерттеу ЖОО-да осы оқыту әдістерін болашақ информатика мұғалімдерін STEM технологиясына оқыту үшін, оқу бағдарламаларына енгізуді қарастыру керектігін көрсетеді. Ол әртүрлі студенттік топтың қажеттіліктерін қанағаттандыра отырып, инклюзивті және тартымды оқу орталарын құру әлеуетін көрсетеді.

Нәтижелер тәжірибелік, интерактивті оқыту тәсілдерінің маңыздылығын көрсететін алдыңғы зерттеулермен сәйкес келеді. Сонымен қатар, нәтижелер осы оқыту әдістерін тиімді ететін механизмдерді одан әрі зерттеуге мүмкіндік береді. Келешекте зерттеу перспективасы осы оқыту әдістерінің білім алушылардың STEM технологияны меңгертуде және информатика мұғалімдерін даярлауда жоғары жетістіктерге жету үшін, ұзақ мерзімді әсерін зерттеуді қамтиды. Бұл зерттеу білім алушыларын информатиканы оқытудағы кездесетін қиындықтар мен оларды шешу мүмкіндіктерін табуда инновациялық оқыту әдістерінің тиімділігін эмпирикалық дәлелдеу арқылы, STEM технологиясын оқытуға ықпал етеді [13].

Қорытынды

Информатика үшін STEM технологиясына оқыту әдістері мен тәсілдері бойынша жүргізілген зерттеулер оқытудың әртүрлі тәсілдерінің тиімділігі туралы құнды түсініктер берді. Бұл зерттеу мұғалімдерге, оқу бағдарламаларын құрастырушыларға және әдіскерлерге информатика бойынша білім беруді жақсартуда басшылыққа алатын маңызды қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

Оқыту әдістерінің тиімділігі: жобалық оқыту, кодтау әдісі бойынша тапсырмалар мен жарыстар ұйымдастыру, ынтымақтастық оқыту, робототехниканы кіріктіре оқыту әдісі, өзіндік оқуға арналған ресурстарды пайдалану - STEM технологияны оқытуға оң әсер ететінін растайды. Бұл әдістер мен тәсілдер білімгерлердің білімін, дағдысын, белсенділігін және жалпы оқу тәжірибесін арттырады.

Робототехниканы кіріктіре оқыту әдісі мен өзіндік оқуға арналған ресурстарды пайдалану білім алушылардың белсенділігі мен мотивациясына айтарлықтай әсер етеді. Ынтымақтастықтағы оқыту топтық жұмысты және «тең-теңімен» оқуды ынталандырады, *Өзіндік оқуға арналған ресурстар* Білім алушыларға оқу саяхатын бақылауға мүмкіндік береді. Белсенді және ынталы білім алушылар STEM технологиясы бойынша білім беруде табысқа жету ықтималдығы жоғары.

Қорытындылай келе, бұл зерттеу информатика үшін STEM білім берудегі инновациялық оқыту әдістерінің трансформациялық әлеуетін атап көрсетеді. Ол білім алушылардың цифрлық дәуірде озық білімді игеру үшін қажетті дағдылар мен біліммен қаруландыратын, динамикалық және тартымды оқу ортасын құрудың маңыздылығын көрсетеді. Осы оқыту әдістері мен тәсілдерін қолдана отырып, STEM технологиясы бойынша білім беру саласы үнемі дамып келе жатқан технологиялық ландшафтқа бейімделіп, өркендей алады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Heather B.Gonzalez, Jeffrey J.Kuenzi. *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Prime* [Электронный ресурс] //CRS Report for Congress – 2012. pp. 153-179. Режим доступа: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R45223.pdf> (дата обращения: 10.10.2023)

2 Баурова В.Р. *STEAM-образование как универсальный инструмент преподавания в начальной школе* / В.Р. Баурова // *Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции*. - 2019. - С. 276-280.

3 С.Г. Григорьев, М.В. Курносенко *Білім беретін педагогикалық STEM-парк технологияларын интеграциялау – цифрлық университет қалыптастырудың негізі. Мақала. Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Хабаршы «Физика-математика ғылымдары» сериясы № 2 (62), - Алматы. 2018. - 80 бет.*

4 Алексанков А.М. *Четвертая промышленная революция и модернизация образования: международный опыт* / А.М. Алексанков // *Стратегические приоритеты*. 2017. № 1 (13). С. 53-69.

5 Квачев В.Г. *Индустрия 4.0: поражение работы или победа творческого труда?* / В.Г. Квачев, М.А. Юдина // *Государственное управление. Электронный вестник*. 2017. № 64. С. 140-158.

6 Савинова С.Ю. *Проектная деятельность в профессиональной подготовке бакалавров-менеджеров* / С.Ю. Савинова, Н.Г. Шубякова // *Инновационные проекты и программы в образовании*. 2015. № 5. С. 46-52.

7 Нечитайло А.Н. *Принцип двойственности сознания и его учёт в современных технологиях преподавания курса общей физики* / А.Н. Нечитайло, А.А. Макеев // *Мир науки, культуры, образования*. 2018. № 1 (68). С. 79 - 80.

8 Конюшенко С.М. *STEM vs STEAM — образование: изменение понимания того, как учить* / С.М. Конюшенко, М.С. Жукова, Е.А. Мошева // *Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки*. — 2018. - № 2 (44).- С. 99-103.-URL:ссылка на ресурс https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35248833_45946938.pdf

9 Caplan M. *Scientists for tomorrow — A self-sustained initiative to promote STEM in out-of-school time frameworks in under-served community-based organizations: Evaluation and lessons learned* / M.Caplan // *ASEE Annual Conference and Exposition (24—28 June 2017)*. — Columbus, Ohio, 2017. pp. 15-19.

10 Chanthala Ch. *Instructional designing the STEM education model for fostering creative thinking abilities in physics laboratory environment classes* /Ch.Chanthala, T.Santiboon, K.Ponkham // *Journal 5th International conference for science educators and teachers (ISET 2017)*. — 2018. pp. 13-18.

11 Sabirova F.M. *The creation of junior schoolchildren's interest in the experimental study of physical phenomena using the elements of the technology of problem-based* / F.M. Sabirova, A. V. Deryagin // *International Journal of Engineering & Technology*. — 2018. — Vol. 7 (2.13). — P. 150—154.

12 *The sound of STEAM: Acoustics as the bridge between the arts and STEM* / C.B. Goates, J.K. Whiting, M.L. Berardi, K.L. Gee, T.B. Neilsen // *Journal 172nd Meeting of the Acoustical Society of America*. — 2017. pp. 163-171.

13 Хавенсон Т.Е., Котик Н.В., Королева Д.О. *Цифровая технологическая готовность школьных учителей// Мониторинг экономики образования. ВШЭ. 2020. № 8. С. 1–7.*

References:

- 1 Heather B.Gonzalez, Jeffrey J.Kuenzi. *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Prime* [Электронный ресурс] //CRS Report for Congress – 2012. pp. 153-179. Режим доступа: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R45223.pdf> (дата обращения: 10.10.2023)
- 2 Bayurova V.R. (2019) *STEAM-obrazovanie kak wniversalnyy instrvment prepodavaniya v naçalnoy škole* [STEAM education as a universal teaching tool in primary school]. V.R. Bayurova *Sovremennye nauçnye issledovaniya: aktualnie suraq, dostijeniya jâne innovacii: sbornik statey VIII Mejdwnarodnoy nauçno-praktičeskoj konferencii*. 276-280. (In Russian)
- 3 S.G. Grigorev, M.V. Kwrnosenko (2018) *Bilim Beretin Pedagogikalıq Stem-Park Texnologiyaların İntegraciyalarıw – Cıfırlıq Wniversitet Qalıptastırwdıñ Negizi* [Integration Of Educational Pedagogical Stem-Park Technologies Is The Basis Of Creating A Digital University]. Maqala. Abay atındağı Qazaq ulttıq pedagogikalıq wniversiteti, XABARŞI «Fızıka-matematika ğılımdarı» seriyası № 2 (62), Almatı. 80. (In Russian)
- 4 Aleksankov A.M. (2017) *Çetvertaya promıšlennaya revolyuciya i modernizaciya obrazovaniya: mejdwnarodnyy opıt* [The Fourth Industrial Revolution and the modernization of education: international experience]. A.M. Aleksankov *Strategičeskie prioriteti*. 2017. № 1 (13). 53—69. (In Russian)
- 5 Kvaçev V.G. (2017) *İndwstriya 4.0: porajeniye raboti nemese pobeda tvorçeskogo trwda?* [Industry 4.0: the defeat of work or the victory of creative work]. V.G. Kvaçev, M.A. Yudiña *Goswdarstvennoe wpravljenje. Élektronnyy vestnik*. № 64. 140—158. (In Russian)
- 6 Savınova S.Yu. (2015) *Proektnaya deyatelnost v professionalnoy podgotovke bakalavrov-menedjerov* [Project activities in the professional training of bachelor managers]. S.Yu. Savınova, N.G. Şwbnyakova, *İnnovacionnie proektı i programmu v obrazovanii*. № 5. 46—52. (In Russian)
- 7 Neçıtaylo A.N. (2018) *Prıncıp dvoystvennosti soznaniya i ego wçyot v sovremennix texnologiyax prepodavaniya kwrsa obşçey fıziķi* [The principle of duality of consciousness and its consideration in modern technologies for teaching general physics courses]. A.N. Neçıtaylo, A.A. Makeev, *Mir nauķi, kwltwri, obrazovaniya*. № 1 (68). 79—80. (In Russian)
- 8 Konyuşenko S.M. (2018) *STEM vs STEAM — obrazovanie: izmeneniye ponımaniya togo, qalay üyrenw* [STEM vs STEAM - education: changing understanding of how to teach]. S.M. Konyuşenko, M.S. Jwkova, E.A. Moşeva, *İzvestiya Baltiyskoj goswdarstvennoy akademii ribopromislovogo flota: psixologo-pedagogičeskie nauķi*. № 2 (44). 99-103.- URL:ssılka na reswrs https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35248833_45946938.pdf (In Russian)
- 9 Caplan M. *Scientists for tomorrow — A self-sustained initiative to promote STEM in out-of-school time frameworks in under-served community-based organizations: Evaluation and lessons learned* / M.Caplan // *ASEE Annual Conference and Exposition* (24—28 June 2017). — Columbus, Ohio, 2017. pp. 15-19.
- 10 Chanthala Ch. *Instructional designing the STEM education model for fostering creative thinking abilities in physics laboratory environment classes* / Ch.Chanthala, T.Santiboon, K.Ponkham // *Journal 5th International conference for science educators and teachers (ISET 2017)*. — 2018. pp. 13-18.
- 11 Sabirova F.M. *The creation of junior schoolchildren’s interest in the experimental study of physical phenomena using the elements of the technology of problem-based* / F.M. Sabirova, A. V. Deryagin // *International Journal of Engineering & Technology*. — 2018. — Vol. 7 (2.13). — P. 150—154.
- 12 *The sound of STEAM: Acoustics as the bridge between the arts and STEM* / C.B. Goates, J.K. Whiting, M.L. Berardi, K.L. Gee, T.B. Neilsen // *Journal 172nd Meeting of the Acoustical Society of America*. — 2017. pp. 163-171.
- Xavenson T.E., Kotıķ N.V., Koroleva D.O. (2020) *Cıfrovaya texnologičeskaya gotovnost školnix wçiteley* [Digital technology readiness of school teachers]. *Monitoring ékonomiki obrazovaniya. VŞÉ*. 2020. № 8. 1–7. (In Russian)

МРНТИ 29.01.45
УДК 37.1174

10.51889/2959-5894.2023.83.3.026

Ш.Ж. Раманкулов^{1*}, Ж.М. Битибаева², Б.А. Курбанбеков¹, Н. Мұсахан¹, А. Паттаев¹

¹ Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік Университеті, Түркістан қ., Қазақстан

² Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: sherzod.ramankulov@ayu.edu.kz

STEM – МЕКТЕП ФИЗИКА КУРСЫНЫҢ «ЭНЕРГИЯ» ҰҒЫМЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫ РЕТІНДЕ

Аңдатпа

Бүгінгі күні технология жылдам қарқынмен дамып келеді. Білім беру үдерісін тиімді жүзеге асыру үшін, әсіресе жаратылыстану ғылымдарын интегративті зерттеу кезінде көптеген инновациялық технологияларды пайдалануға болады. Қазіргі уақытта оқу материалдарын әртүрлі цифрлық формалар арқылы қамтамасыз етуге болады. Бұл зерттеу мектеп физика курсына оқушылардың оқу материалдарына, әсіресе энергия тақырыбына қатысты қажеттіліктері мен қызығушылықтарының тенденциясын қысқаша баяндайды. Зерттеудің мақсаты мұғалімдер мен оқушылардың STEM интеграцияланған оқытуды енгізгенде, олардың орта мектепте энергия ұғымын зерттеу мен оқып-үйренуді жеңілдетудегі күтілетін мәселелерді анықтау болып табылады. Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерге, мектеп физика курсының оқулықтары мен оқу бағдарламаларына талдау жасалынды. Сонымен қатар, STEM элементтерін, цифрлық білім беру ресурстарын таңдап алу жұмыстары жүргізілді. Бұл материалдарды оқу үдерісіне ендіріп, оқушылар арасында энергия тақырыптары бойынша бақылау жұмыстары ұйымдастырылды. Зерттеу нәтижелері STEM технологиясының оқушылар арасында энергия ұғымымен байланысты ғылыми ойлауды дамытуға бағытталған іс-шаралармен байытуға мүмкіндік беретіндігін көрсетті.

Түйін сөздер: STEM технология, цифрлық ресурстар, мектеп физика курсы, энергия ұғымы, оқушы, қалыптастыру.

Аннотация

STEM КАК ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ «ЭНЕРГИЯ» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Ш.Ж. Раманкулов¹, Ж.М. Битибаева², Б.А. Курбанбеков¹, Н. Мұсахан¹, А. Паттаев¹

¹Международный казахско-турецкий Университет имени Х.А.Ясауи, г. Туркестан, Казахстан

²Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

Сегодня технологии развиваются быстрыми темпами. Для эффективной реализации образовательного процесса, особенно при интегративном изучении естественных наук, можно использовать множество инновационных технологий. В настоящее время учебные материалы могут быть предоставлены с помощью различных цифровых форм. Это исследование кратко описывает тенденции потребностей и интересов учащихся в школьном курсе физики в отношении учебных материалов, особенно в отношении темы энергии. Цель исследования состоит в том, чтобы определить ожидаемые проблемы, с которыми учителя и учащиеся сталкиваются при внедрении интегрированного обучения STEM, чтобы облегчить их изучение и изучение концепции энергии в средней школе. В ходе исследования был проведен анализ научной литературы, учебников и учебных программ школьного курса физики. Также была проведена работа по выбору элементов STEM, цифровых образовательных ресурсов. Эти материалы были включены в учебный процесс и организованы контрольные работы среди учащихся по энергетическим темам. Результаты исследования показали, что технология STEM позволяет обогатить учащихся мероприятиями, направленными на развитие научных знаний, связанных с понятием энергии.

Ключевые слова: STEM технологии, цифровые ресурсы, школьный курс физики, понятие энергии, ученик, формирование.

Abstract

STEM AS A TECHNOLOGY FOR THE FORMATION OF THE CONCEPT OF "ENERGY" IN A SCHOOL PHYSICS COURSE

Sh.Zh. Ramankulov¹, J.M. Bitibaeva², B.A. Kurbanbekov¹, N. Mussakhan¹, A. Pattayev¹

¹ Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

² Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

Today, technology is developing rapidly. For the effective implementation of the educational process, especially in the integrative study of natural sciences, many innovative technologies can be used. Currently, educational materials can be provided using various digital forms. This study briefly describes the trends in the needs and interests of students in the school physics course in relation to educational materials, especially in relation to the topic of energy. The purpose of the study is to identify the expected challenges that teachers and students face when implementing integrated STEM learning to facilitate their learning and learning of the concept of energy in high school. In the course of the study, the analysis of scientific literature, textbooks and curricula of the school physics course was carried out. Work was also carried out on the selection of STEM elements, digital educational resources. These materials were included in the educational process and control works were organized among students on energy topics. The results of the study showed that STEM technology makes it possible to enrich students with activities aimed at developing scientific knowledge related to the concept of energy.

Keywords: STEM technologies, digital resources, school physics course, the concept of energy, student, formation.

Кіріспе

Бүгінгі таңда физиканың білімдерін сәтті игеру үшін құбылыстар мен заңдылықтарды сипаттау жеткіліксіз болып табылады. Жаһандық еңбек нарығының жылдам өзгеруі білімгердің әртүрлі деректермен жұмыс істей білуін, заманауи технологияларды меңгеруін және нақты өмірде өз қабілеттерін қалай қолдану керектігін білуді қажет етеді. Мектеп түлектері физиканы оқуда, ары қарай жоғары білім алуда және кәсіби қалыптасуда алған дағдыларын табысты пайдалана отырып, әлемнің жетекші оқу орындарының түлектерімен бәсекеге қабілетті болуы керек.

Әлемнің көптеген елдерінде білім мазмұнын жаңғырту, оны нақты өмір жағдайларына барынша үйлестіру идеясы STEM интеграцияланған пәнаралық бағдарламаларын қолдануда тиімді іске асырылады [1]. STEM (S – science, T – technology, E – engineering, M-mathematics) - ағылшын тілінен аударғанда табиғи пәндер мен технологиялардың өзара байланысын, математикалық білімді қолдана отырып жаңа инженерлік шешімдерге қол жеткізуді білдіреді. 1989 жылы Америка Құрама Штаттары STEM білімін алғаш рет ұсынды, ал 2011 жылы ол толығымен K-12 бөліміне енгізілді. STEM курсы арқылы оқыту зерттеулерінің қарқынды дамуы мен тереңдеуімен STEM оқу бағдарламасы практикалық оқытуда көптеген қиын мәселелерге тап болады [2]. STEM бағдарламаларының тұжырымдамасы оқушылардың физикадан теориялық ақпаратты алдын-ала оқып меңгергеннен кейін белгілі бір физикалық проблема аясында сызба немесе модель құруды көрсетеді. Бұл іс-әрекетте оқушылар математикалық білім негіздерін, креативті қабілеттерін, жаңа идеяларды ұсыну және болжамдарға бақылау жасау, жаңа өнімнің қасиеттері мен сапасына қойылатын талаптарға сәйкес пысықтау қабілеттерін қолдануы қажет.

2019 жылдың қаңтар айында Швейцарияның Женева қаласында өткен «Индустрия 4.0: Өнеркәсіптік технологиялар мен инновацияларды дамытудың нысаналы бағдарлары» тақырыбындағы Бүкіләлемдік экономикалық Форумда – болашақ мамандарды оқыту және жұмысшылардың біліктіліктерін арттыру жағдайында бүгінгі өндірістік саладағы міндеттерді шешу және инновацияларды енгізу арқылы болашақ жұмыс орнын құру мүмкіндігі айтылған болатын [3]. Бұл жағдай өндірістік революция 4.0 жолында жұмыс берушілер техникалық, соның ішінде физика саласының мамандықтары бойынша бітірушілерден қандай қажеттіліктерді күтетіндігін анықтау мәселелерінің өзектілігін көрсетеді.

2019 жылдың 27 желтоқсанындағы Қазақстан Республикасы Үкіметінің №988 «Білім және ғылымды дамытудың 2020 – 2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасын» бекіту туралы қаулыда индустрия 4.0 талаптарына қол жеткізудің бір жолы ретінде - химия, биология, физика пәндерін STEM-кабинеттермен жабдықтау негізінде оқыту мәселелері қарастырылған [4].

Қазіргі уақытта негізгі мектепте физика курсы бойынша оқу материалының мазмұнын таңдау мәселесі бойынша зерттеулерде, табиғат объектілерінің қозғалысы мен өзара әрекеттесуінің өлшемі ретінде «Энергия» ұғымын алу физика білім беру ғылымының басты назарында. Себебі, энергияның сақталу және түрлену заңының ашылуы механикалық және жылу құбылыстарын сипаттауға энергетикалық түсініктерді қолданудың нәтижесі болды. Ал осы заңды әртүрлі физикалық сипаттағы

құбылыстарға қолдану негізінде ашылған жаңалықтар оның әмбебаптығына деген сенімділікті нығайтты.

Физикалық құбылыстардың, заттар мен өрістердің энергетикалық сипаттамаларын зерттеуге физика курсының оқу материалының едәуір бөлігі қарастырылады. Энергияның сақталу және түрлену заңының әмбебаптығының көрінісі әлемнің ғылыми бейнесін, атап айтқанда, оның әлемнің материалдық бірлігі, энергия - қозғалыстың сандық өлшемі, қозғалыс - материяның өмір сүру тәсілі туралы идеяларын қалыптастыру үшін маңызды болып табылады.

«Энергия» ұғымы – бұл ғылымның барлық салаларында кеңінен қолданылатын ұғым болып табылады. «Энергия» ұғымының мағынасына және оны сипаттау үшін қолданылатын әртүрлі метафораларға көптеген зерттеулер жүргізілді [5-6].

Орта мектепте физиканы оқытуда «энергия» ұғымын қалыптастыруға бірнеше шетелдік және отандық әдіскер ғалымдар айтарлықтай үлес қосты. Е.Хехт өз зерттеулерінде 1860 жылдардан бастап қазіргі уақытқа дейінгі физика оқулықтарына талдау жасай отырып энергия тұжырымдамасын оқытудағы қазіргі көзқарасымыздың кемшіліктерін көрсетті. Нәтижесінде пәннің педагогикалық дамуы үшін біршама қолжетімді негізді қамтамасыз ете алатын күш, жұмыс және энергияның тұжырымдамалық анықтамаларының келісілген жиынтығы ұсынылды. Энергияның сақталу заңын қолдану, физиканың әртүрлі бөлімдерін зерттеу кезінде энергия туралы түсініктерді тереңдету мәселелері зерттеліп, әдістемелік ұсыныстар берілген [7].

Р. Торре, Б.Онгго, К.Корлу, М.Ногал, және А.Хуан энергетикалық ұғымдарды оқыту құралы ретінде модельдеу мен маңызды ойындардың маңыздылығына талдау жасаған [8]. Авторлар оқыту әдістемесі көрсеткендей, оларды оқу үдерісіне енгізу білімгерлерді белсенді оқытуда тиімді болғанымен, қолдану мәселесі әлі кең тарқалмағанын тұжырымдайды.

Э.Русьяни, Р.Мариани, М.Муктиарни, А.Нандиянто зерттеулерінде инклюзивті білім беруде энергетикалық құбылыстар мен заңдылықтарды оқушылардың қажеттіліктеріне сәйкес келетін әдістер мен бұқаралық ақпарат құралдары материалдарды түсіну үшін оқу процесін жеңілдететіндігін дәлелдейді [9].

Отандық ғалымдар Э.М.Мамбеткунов, Ж.Қ.Сыдықова, Б.Ерженбек зерттеу жұмыстарын мектеп физика курсына «Энергия» ұғымын жаттығулар жүйесін қолдану негізінде қалыптастыру әдістемесін қарастырады. Ғалымдар жаттығулар жүйесін қолдану арқылы оқушылардың меңгерген білімдерін практикада қолдана алу қабілеттіліктерін дамытады [10].

Орта мектептердің жаңартылған мазмұндағы білім беру жүйесіне көшуі физика курсы бойынша да жүйелі оқуды іске асыруды қамтиды. Мектеп физика курсының әр бөлімінің оқу материалының мазмұнын ұғымдар, заңдар, физикалық теорияның кейбір идеялары негізінде жүйелеу жалпы ғылыми ұғымдарды, іргелі заңдарды бөліп меңгеруге мүмкіндік береді. Бұл ұғымдардың негізгілерінің бірі «энергияның сақталу және түрлену» заңы екендігін ескерсек, аталған ұғым бойынша оқушылардың танымдық қабілеттерін дамытудың тиімді әдіс-тәсілдерін зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Отандық ғалымдар Г.Қазбекова мен Ж.Исмағұлованың зерттеулерінде инновациялық STEM-білім беруді қалыптастыру тақырыбы аясында STEM бағытында білім беруді реформалаудың негізгі факторлары көрсетілді. Авторлар STEM - білім берудің негізгі артықшылықтарын айқындайды: физика-математикалық және жаратылыстану циклінің пәндері арасындағы байланысты теориялық және практикалық тұрғыда көрсетуге мүмкіндік береді; STEM сабақтарын ұйымдастыру оқушыларды математика, физика және басқа пәндерді оқуға тартады және т.б [11].

Ғылыми еңбектерді талдау оқушыларда жалпы ғылыми ұғымдарды, «Энергия» ұғымы мен энергияның сақталу және түрлену заңы негізінде мазмұнды жалпылау әдістемесін әзірлеудің жеткіліксіздігін көрсетті. Сонымен қатар, оқушылардың бейіндік даярлық деңгейін арттыру қажеттілігі мен энергия ұғымын қалыптастыру әдістемесін игеру бойынша оқытудың заманауи цифрлық технологияларын, STEM элементтерін пайдалана отырып, әдістемелік практикум мазмұнын әзірлеу деңгейінің жеткіліксіздігі арасында қарама-қайшылықтар туындайды.

Аталған қажеттіліктерді орындау және қарама-қайшылықтардың шешімін анықтау біздің зерттеуіміздің негізгі идеясы болып табылады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеудің әдіснамалық негізін тақырыптың теориялық негізін қалыптастырумен байланысты философия, педагогика, физика білім беру саласындағы ғылыми-әдістемелік зерттеу жұмыстары

құрайды. Сонымен қатар, дидактикалық теориялардан: тұлғаның даму теориясы, білім берудің мақсаты мен таксономиясы теориясы, ақыл-ой әрекеттерін дамыту теориясы негізге алынды. Физиканы оқыту әдістемесі саласындағы тұжырымдамалық әзірлемелер де зерттеудің негізін құрады.

Теориялық зерттеу әдістерінен: физиканы оқытудың теориялық модельдерін, оларды түсіндіретін және болжамды әлеуеттеріне талдау жасалынды.

Scopus, Web of science деректер базасындағы жоғары рейтингті ғылыми журналдарда жарияланған мақалаларға талдау жасалынды. Талдау «STEM», «Физика», «Энергия», «Оқушы», «Цифрлық технологиялар» және т.б. кілт сөздер негізінде жүзеге асты.

Теориялық зерттеу жұмысы 2 – кезеңде іске асырылды.

Бірінші кезеңде жалпы әдебиттерге шолу жасалынды. Олардың ішінде біздің зерттеуге негіз болған жұмыстар сарапталды. Зерттеу барысы оқыту барысында цифрлық технологияларды қолдану арқылы оқушылардың энергетика саласында білім алуға ынтасын арттыратыны және оның болашақ кәсібіне әсер етуі бойынша мәселелерді ортаға шығарды.

Зерттеудің екінші кезеңінде – энергия тақырыптарын оқыту барысында компьютерлік динамикалық модельдеу арқылы бірқатар педагогикалық, дидактикалық және технологиялық мәселелерді шешудің мүмкіндіктерін анықтау мақсатында орта мектептердің физика пәні бойынша оқу бағдарламаларына талдау жасалынды.

Эмпирикалық зерттеу әдістерінен: ғылыми дәлелді мәліметтерді жинақтау, оқу үдерісінің мазмұнын айқындайтын нормативтік құжаттарды талдау, мектеп физика мұғалімдерінің педагогикалық тәжірибесін зерделеу, физика пәні бойынша оқулықтар мен оқу әдебиеттерді талдау жұмыстары жүргізілді.

Біз Түркістан қаласының Б.Момышұлы атындағы №22 жалпы орта мектебінде және Ж.Ташенов атындағы №23 ІТ мектеп-лицейінде физика пәні мұғалімдерінің әртүрлі оқыту тәжірибесін және STEM тұжырымдамаларын тану мақсатында сапалық зерттеу әдістерін (сұхбаттасу, бақылау) қолдандық. Бұл зерттеу 2022 жылдың 1 қыркүйегінен 30 желтоқсанына дейін жүргізілді. Деректерді алу үшін біз жеке, жартылай құрылымдық сұхбаттар жүргіздік, физика сабағында оқыту бақылауларын жасадық және энергиямен байланысты оқытылатын тақырыптарға қатысты құжаттарды жинадық.

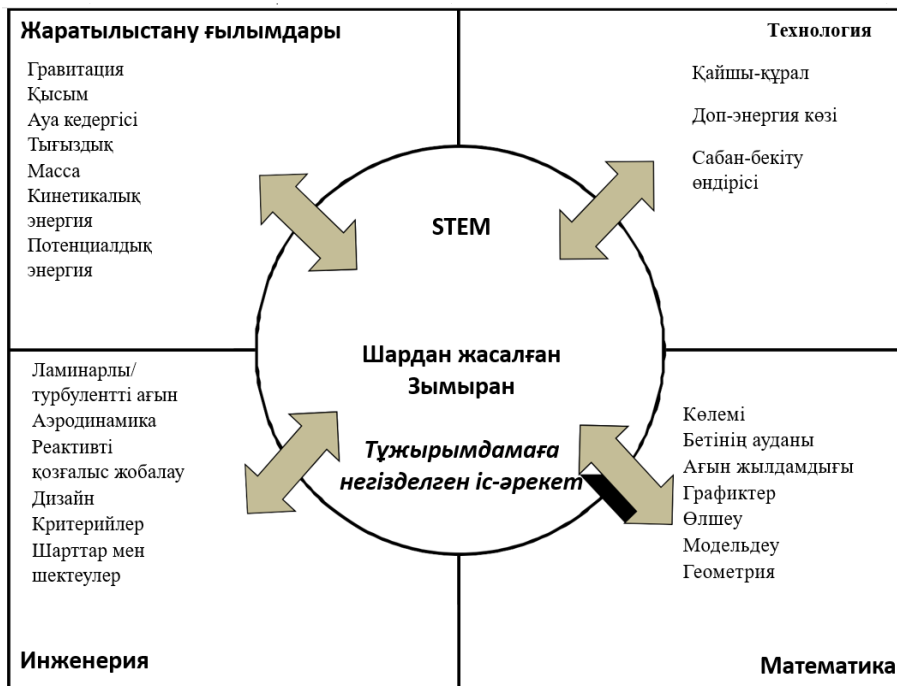
Біріншіден, біз мұғалімдердің оқытудағы артықшылықтары, оқыту мақсаттары және оқытудың әдеттегі практикасы туралы мәліметтер алу үшін барлық мұғалімдермен алдын-ала жеке сұхбат жүргіздік. Қойылған негізгі сұрақтар: физиканы оқытудың мақсаттары қандай? физиканы әдетте қалай оқытасыз? оқытудың нақты тәсілдерін қолданудың себептері қандай? STEM оқытуды қалай тұжырымдайсыз? STEM оқыту тәсілдерін пайдаланудың себептері қандай болуы мүмкін? Бұл негізгі сұрақтар барлық физика мұғалімдеріне қойылды. Әңгімелесу әр мұғаліммен 25 минутқа жуық жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

STEM технологиясы бұл – ғылым мен технологияны, инженерия және математиканы біріктіретін кешенді және пәнаралық курс екендігі тағыда айқындала түсті. Бұл физика сабағында оқушылардың тапсырмаларға сәйкес проблемаларды анықтау және оны шешу қабілетін, сондай-ақ, ғылыми сауаттылықты, инженерлік және техникалық қабілеттерді дамытуға көмектеседі.

Мектеп мұғалімдерімен жүргізілген сұхбаттасу нәтижелері көрсеткендей STEM - оқушылардың ғылыми сауаттылығын арттыруда салыстырмалы түрде баяу жүретіндігін көрсетті. Сонымен қатар, STEM-нің – білім алушылардың танымдық қызығушылығына әсері мұғалімдердің сабақтағы көрнекілік қолдануына тығыз байланысты екені айқындалды. Бақылау жұмыстары STEM қолданылған сабақтардың көпшілігінде тоқсан бойы бір немесе екі жобаларды аяқтау үшін салыстырмалы түрде ұзақ уақытты қажет ететіндігін көрсетті. Бұл жобалар физикалық құбылыстар мен заңдылықтарды оқып үйренуде оқушылардың негізгі сауаттылығын белгілі бір дәрежеде арттыра алатынына қарамастан, көбінесе білім алушыларға жалпы білім беруде білім жүйесінің тұтастығына қол жеткізуде қиындық тудыратыны байқалды.

STEM оқытудың көптеген әдістері 3D принтері, Робот модулі және басқа бағдарламалық модульдер секілді стационарлық құралдарға негізделген. Әсіресе жоғары оқу орындарына түсуге дайындық үстіндегі түлектер STEM курстарына көп уақыт бөле алмайды. Дегенмен, тақырыпқа байланысты ұғымдарды анықтау және оның STEM негізінде меңгерілуі мұғалімнің тәжірибесіне байланысты болады. Біздің зерттеу тақырыбына сәйкес «энергия» ұғымымен байланысты болған STEM сабағын ұйымдастырудың мысалын көрсетейік (1-сурет).



Сурет 1. STEM сабақтарын жоспарлауда негізгі пәндік ұғымдарды анықтау мысалы

Физика сабағында STEM-ді жобалау үшін мұғалімдер келесі үш аспектіні қолдануы қажет:

- **Білім мен оқу бағдарламасын меңгерудің мақсатты деңгейін нақтылау.**

Энергиямен байланысты тақырыптар бойынша STEM-ге негізделген сабақ жоспарын әзірлеу кезінде мұғалімдер алдымен курстың мақсатын және оқушылардың оны меңгеру дәрежесін нақты анықтауы керек. Оқу мақсаттарын игеру үшін мұғалімдер оқу бағдарламасын құруда әртүрлі қиындықтар туғызу міндетін қарастыруы керек. Яғни, жеңіл меңгерілетін оқу мақсаттарына аз сағат бөліп, ал тереңірек меңгерілетін оқу мақсаттарындағы негізгі ойларды бөлектеу үшін оқу бағдарламасында бірнеше рет қойылуы керек.

- **Оқу мақсаттарына жету үшін жеңіл меңгерілетін STEM жобаларды әзірлеу немесе өмірмен байланысты кейстерді құру.**

STEM сабақтарының дәстүрлі оқытудан айырмашылығы, негізінен жобалық оқыту түрінде жүзеге асырылады. STEM оқу үдерісінде жобаларға негізделген, бірақ негізінен білім алушылар жобаны бір-екі аптада аяқтауы немесе практикалық мәселені шешуі үшін жеңіл меңгерілетін микро жобаларды әзірлеу үшін оның қолжетімді құралдар мен нысандарды пайдаланады.

- **Тиімді бағалау механизмін құру.**

Мұғалімдер STEM сабақтарды жоспарлау кезінде қорытынды бағалау механизмін құруға назар аударуы керек. Оқу тақырыбының мазмұнына сәйкес, оқушы жобаны жүзеге асыру туралы есеп беруі, өндірістік нәтижелерді ұсына алуы, тіпті сәтсіздіктердің қысқаша мазмұнын жаза білуі керек.

Дәстүрлі оқу бағдарламасының алдында тұрған мәселелерді шешу және сыныпта оқытудың тиімділігін тиімді арттыру үшін бұл мақалада энергетикалық тақырыптар үшін сабақ жоспарының үзінді моделі ұсынылады (2-сурет).

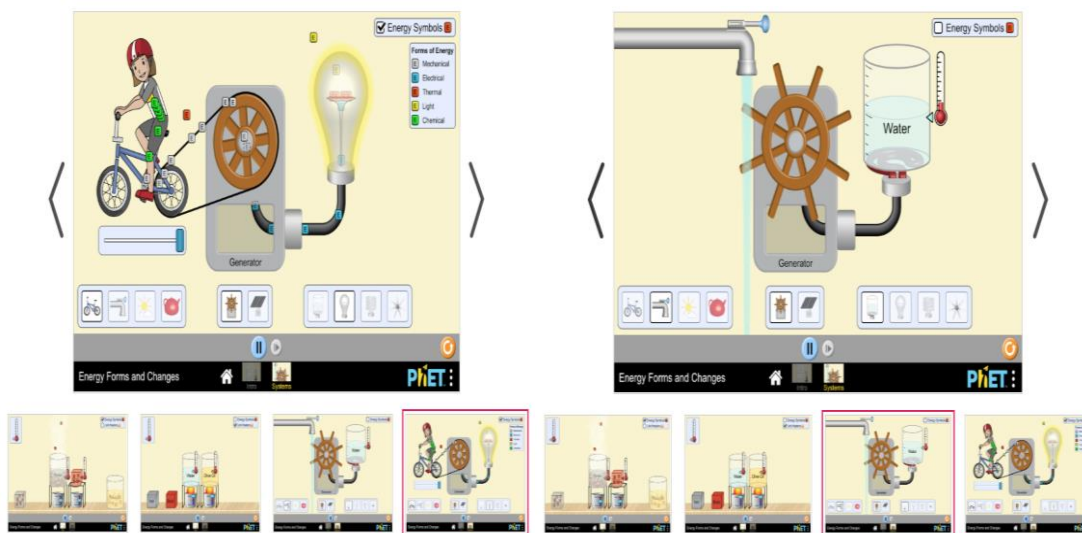
Серіппені созып, оны босатқанда не байқаймыз? Неліктен? Энергияның қалай алынатынын және берілетінін, оның қозғалатын заттардың жылдамдығы мен импульсына қалай байланысты екенін түсіндіру потенциалдық және кинетикалық энергияны түсінуді қамтиды. Бұл энергияның сақталу, түрлену заңымен практикалық танысу, оқушыларға болып жатқан оқиғалармен байланыс орнатуға көмектесетін ғылым саласы. Оқушылар бір нәрсені созып, ол алысқа ұшып бара жатқанда немесе допты қағаз слайдтарға айналдырып, оның көлбеу циклмен көтеріле алатынын байқаған кезде, олар ғылымды іс жүзінде көреді және әр түрлі айнымалылардың өзгеруі жылдамдыққа, қашықтыққа, немесе объектінің импульсіне қалай әсер ететінін іс жүзінде зерттей алады.



Сурет 2. Потенциалдық және кинетикалық энергияны зерттеу бойынша STEM элементтер [12].

Сонымен қатар, оқушыларға физика сабағында STEM-ді тиімді іске асыруда ғылым мен математикаға арналған PhET интерактивті модельдеу бағдарламасын пайдалануға болады.

PhET модельдеулері энергия тақырыбымен байланысты анимациялық, интерактивті және ойын тәрізді орталарды ұсынады. Бұл физика пәні мұғалімдеріне STEM зерттеулерді тиімлі іске асыруға мүмкіндік береді. Бағдарламада шынайы өмір құбылыстары мен негізгі ғылым арасындағы байланыстарды атап көрсетеді, көрінбейтін нәрселерді көрінетін етеді (мысалы, атомдар, молекулалар, электрондар, фотондар) және мұғалімдер оқушылардың танымдық ойлауына көмектесу үшін қолданатын көрнекі модельдерді қамтиды (3-сурет).



Сурет 3. «Энергия» ұғымын қалыптастыруға бағдарланған PhET модельдері [13].

Мысалы, оқушылардан түрлі жағдайда энергияның түрленуі кезінде кинетикалық және толық энергия графиктері уақыт функциясы ретінде қандай болатынын болжауды сұрауға болады.

Оқушылар жеке болжамдарды жазып болған соң, өз тобына соңғы болжам жасау үшін басқа оқушылармен топтық жұмыста ақылдасады. Мұғалім сыныптан болжамды тыңдауды сұрайды, содан кейін, Phet бағдарламасын іске қосады. Оқушылар Phet бағдарламасынан құбылысты көргеннен кейін, не болғанын және оның болжамынан қалай ерекшеленетінін баяндайды. Соңында, олар көрген нәрселер туралы және физика идеяларына негізделген білімді бүкіл сыныпта талқылауға салады. Модельдеу бірегей болып табылады, өйткені олардың дизайны үй тапсырмаларын мұғалімнің қатысуынсыз басшылыққа алынған сұрау әдісін сәтті пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, бұл кіріктірілген қолдау мұғалімдерге үй тапсырмасының сұрақтарын қосуға мүмкіндік береді, бірақ олардан өзгеше құбылыстарды түсіндіру арқылы стандартты үй тапсырмасы мәселесінде мүмкін болатыннан тыс оқуын кеңейтуді сұрайды.

Phet «зертханалық» жұмыстары нақты жабдықпен практикалық жүзеге асыруға болмайтын құбылыстарды түсіндіруге мүмкіндік береді. Мысалы, Энергетикалық скейт саябағы, оқушылар энергияны үнемдеуді бірнеше түрлі айнymалылармен зерттейді (жолдың пішіні, конькимен жүгірушінің бастапқы биіктігі мен жылдамдығы, конькимен сырғанаушының массасы және үйкеліс). Оқушылар тәжірибелерді жылдам қайталай алады және көптеген әртүрлі параметрлердің әсерін жылдам зерттей алады.

Оқу бағдарламасының мазмұнына сүйене отырып, біз STEM-білім негізінде мектеп физикасы бойынша оқу бағдарламасында «энергия» ұғымымен байланысты тақырыптардың белгілі бір мазмұнын оқыту үдерісін келесі түрде ұсындық:

1-қадам: сабақ мазмұнына сәйкес әрбір сабақты STEM-ге бағытталған білім негізінде жасау қиындық тудырады. Сондықтан да біз инженерия, технология, математика және дизайнның 2-ден астам аспектілерін біріктіре алатын STEM-ге бағдарланған мазмұнды таңдауымыз керек.

2-қадам: сабақтың мақсаттарын анықтау үшін оқу мазмұнына сүйене отырып, білім, білік, мәселелерді шешу дағдылары, қарым-қатынас дағдылары, практикалық дағдылар сияқты STEM бағдарлау дағдыларына бағытталған бастапқы оқу бағдарламасына сәйкес келуін қамтамасыз етуі керек.

3-қадам: сабақтың мазмұнына, оқушылардың білім деңгейіне, жас ерекшеліктеріне, сабақтың жоспарланған уақытына байланысты тиісті шарттарды көрсету керек.

4-қадам: сабақ жоспарын жасау.

Сабақ атауы/сабақтың мақсаттары: білім, дағдылар, қарым-қатынас. Сабақты әзірлеу кезінде оқушыларға жаңа теориялық сабақтарды игеруге кететін уақытты ескеру қажет. Себебі, білім, уақыт өте келе оқушыларға тәжірибе жасауға мүмкіндік береді. Оқу-әдістемелік қызметте ынталандыру үшін оқушылардың ынтымақтастық дағдыларын, практикалық дағдыларын, проблемаларды шешу дағдыларын пысықтауға қатысуын қамтамасыз ететін оқытудың тиімді әдістерін қолдану қажет.

5-қадам: оқу іс-әрекетін ұйымдастыру үдерісінде практикаға, қауіпсіз практикалық сабақтарға қолайлы орындарды ұйымдастыру және сұрыптау және шығармашылық пен ынтымақтастықты ынталандыратын психологиялық орта құру қажет. Оқушылар берілген тапсырмаларды орындап жатқанда, мұғалім уақтылы қолдау және басшылық ету үшін топтарды қамтуы керек. Сонымен қатар, соңғы өнімді ғана емес, берілген тапсырмаларды орындау барысында оқушыларды бақылау және бағалау қажет.

6-қадам: мұғалім сабақтың мазмұнының сабақтас салаларға сәйкестігін, мектептің қазіргі жағдайымен салыстырғанда орындылығын, практикалық сәйкестігін қайта бағалайды.

Алдыңғы зерттеулер STEM технология оқушылардың білім алуға деген қызығушылығын едәуір арттырып, білім алушыларды пассивті ойлаудан белсенді ойлау конструкторларына айналдыруы мүмкін екенін көрсетеді [14]. Біздің ағымдағы зерттеуімізде білім алушылардағы бұл өзгеріс олардың энергиямен байланысты заңдылықтарды тереңірек түсінуіне, әсіресе, іс-әрекеттік дағдыларды жақсартуға ықпал етеді.

Қорытынды

Әлемнің физикалық бейнесі - ғылыми дүниетанымның бөлігі болып табылады. Дүниетанымды қалыптастыра отырып, оқушылардың теориялық ойлауын дамыта отырып, олардың назарын материалдық объектілерге тән өзгеру үдерістеріне аудару маңызды. Қозғалыстың физикалық формалары үшін энергия - бірыңғай сандық өлшем болып есептеледі. Қозғалыстың бірыңғай өлшемін белгілеу қозғалыстың физикалық формалары белгілі бір сандық қатынастарда бір-біріне айнала алатындығына байланысты. Бұл энергияны сақталу және түрлену заңын бекітеді. «Энергия» ұғымының қалыптасуы мен дамуы, бұл ұғымды оқушыларға меңгерту бойынша әдістемелік жұмыстарға талдау, энергияның негізгі қасиеті – сақталу заңы алғашқыда механикалық және жылу, содан кейін электромагниттік және кванттық өзара әрекеттесу кезінде анықталғанын көрсетеді.

Бұл зерттеу жұмысының нәтижелері STEM технологиясының оқушылар арасында энергия ұғымымен байланысты ғылыми ойлауды дамытуға бағытталған іс-шаралармен байытуға мүмкіндік беретіндігін көрсетті. Алынған мәліметтерге сүйене отырып, оқушылар энергияның сақталу және түрлену заңдарын зерттеу кезінде цифрлық білім беру ресурстары сияқты көмекші оқу материалдарымен қамтамасыз етілгенде көбірек қызығушылық танытатындығын байқауға болады.

Демек, STEM сабақтарын ұйымдастыра отырып, білім алушылар салыстырмалы түрде еркін атмосферада «энергия» туралы көбірек білім ала алады. Бұл пәндердің интеграциясына ықпал етеді, проблемаларды табу және шешу қабілеттерін дамытады. STEM негізінде мақсатқа жету үшін білім алушылар энергия туралы білімін әртүрлі пәндерде қолдануды үйренеді. Зерттеуден алынған мәліметтер жоғары және орта білім беру ұйымдарында қолданысқа ұсынылады және бұл нәтижелер физиканың білім беру саласы бойынша жаңа бағыттағы зерттеулерге негіз болады.

Алғыс

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (ЖТН «AP19579398»).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Pearce, D. R., Oyama, M., Moore, D., Kitano, Y., & Fujita, E. (2021). Plurilingual STEAM and School Lunches for Learning? *International Journal of Bias, Identity and Diversities in Education*, 6(2), 33–57. <https://doi.org/10.4018/ijbide.2021070103>

2 Rico-Bautista, N. A., Rico-Bautista, D. W., & Arévalo-Pérez, N. (2021). Construction of an amusement park using STEAM and LEGO education to participate in the science fair. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1981). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1981/1/012019>

3 Информационный документ. Четвертая промышленная революция: Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций. Всемирный экономический форум 91–93 route de la Capite CH-1223 Cologny/Geneva Швейцария, 2019. <https://www3.weforum.org/> 10.12.2022.

4 "Цифрлық Қазақстан" мемлекеттік бағдарламасы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы 12 желтоқсандағы № 827 қаулысы. <http://adilet.zan.kz> 10.12.2022.

5 Yerzhenbek B., Sydykova Zh., Zhadraveva L., Zhumaliyeva L., Yessenova M. *Methods of forming physical concepts for primary school students // Cypriot Journal of Educational Sciences*. – Volume 17, №3, –2022.– P. 891-902. DOI:<https://doi.org/10.18844/cjes.v17i3.6959>

6 Locatelli, G. (2022). Teaching sustainable energy systems to engineering students. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 16(1), 1–21. <https://doi.org/10.1504/IJISD.2022.119233>

7 Hecht, E. (2019). Understanding energy as a subtle concept: A model for teaching and learning energy. *American Journal of Physics*, 87(7), 495–503. <https://doi.org/10.1119/1.5109863>

8 de la Torre, R., Onggo, B. S., Corlu, C. G., Nogal, M., & Juan, A. A. (2021). The role of simulation and serious games in teaching concepts on circular economy and sustainable energy. *Energies*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/en14041138>

9 Rusyani, E., Maryanti, R., Muktiarni, M., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). Teaching on the concept of energy to students with hearing impairment: Changes of electrical energy to light and heat. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(3), 2502–2517.

10 Мамбетакунов Э.М., Сыдықова Ж.Қ., Ерженбек Б. «Энергия» ұғымын қалыптастыруда жаттығулар жүйесін қолдану әдістемесі // Абай атындағы ҚазҰПУ-нің хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы. – №1(65) – 2019. – Б.142-147.

11 Казбекова Г.Н., Исмагулова Ж.С. Инновациялық STEM-білім беру тәсілін қалыптастыру// Ясауи университетінің хабаршысы. –2022. –№3(125).–Б.200–210. <https://doi.org/10.47526/2022-3/2664-0686.17>

12 A. Cowen. 13 Activities and Lessons to Teach Potential and Kinetic Energy. *Blog Posts on September 28, 2022 8:00 AM.*, <https://www.sciencebuddies.org/> 10.12.2022.

13 Interactive Simulations for Science and Math. <https://phet.colorado.edu/> 01.12.2022.

14 Ramankulov Sh., Choruha, A., Polatuly S. STEAM technology as a tool for developing creativity of students: on the example of a school physics course// Iasau universitetinin habarshysy. –2022. –№4(126).–Б.200–211. <https://doi.org/10.47526/2022-4/2664-0686.17>

References:

1 Pearce, D. R., Oyama, M., Moore, D., Kitano, Y., & Fujita, E. (2021). Plurilingual STEAM and School Lunches for Learning? *International Journal of Bias, Identity and Diversities in Education*, 6(2), 33–57. <https://doi.org/10.4018/ijbide.2021070103>

2 Rico-Bautista, N. A., Rico-Bautista, D. W., & Arévalo-Pérez, N. (2021). Construction of an amusement park using STEAM and LEGO education to participate in the science fair. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1981). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1981/1/012019>

3 Информационный документ. (2019) Четвертая промышленная революция: Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций [The Fourth Industrial Revolution: Targets for the development of industrial technologies and innovations]. *Vsemirnyj jekonomicheskij forum 91–93 route de la Capite CH-1223 Cologny/Geneva Shveycarija*, <https://www3.weforum.org/> 10.12.2022. (In Russian)

- 4 "Sıfırlıq Qazaqstan" memleketlik baǵdarması ["Digital Kazakhstan" state program]. Qazaqstan Respublikası Úkimetiniń 2017 jylǵy 12 jeltoqsandaǵy № 827 káylısy. <http://adilet.zan.kz> 10.12.2022. (In Kazakh)
- 5 Yerzhenbek B., Sydykova Zh., Zhadraveya L., Zhumaliyeva L., Yessenova M. Methods of forming physical concepts for primary school students // Cypriot Journal of Educational Sciences. – Volume 17, №3, –2022.– P. 891-902. DOI:<https://doi.org/10.18844/cjes.v17i3.6959>
- 6 Locatelli, G. (2022). Teaching sustainable energy systems to engineering students. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 16(1), 1–21. <https://doi.org/10.1504/IJISD.2022.119233>
- 7 Hecht, E. (2019). Understanding energy as a subtle concept: A model for teaching and learning energy. *American Journal of Physics*, 87(7), 495–503. <https://doi.org/10.1119/1.5109863>
- 8 de la Torre, R., Onggo, B. S., Corlu, C. G., Nogal, M., & Juan, A. A. (2021). The role of simulation and serious games in teaching concepts on circular economy and sustainable energy. *Energies*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/en14041138>
- 9 Rusyani, E., Maryanti, R., Muktiarni, M., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). Teaching on the concept of energy to students with hearing impairment: Changes of electrical energy to light and heat. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(3), 2502–2517.
- 10 Mambetákynov E.M., Sydyqova J.Q., Erjenbek B. (2019) "Energia" úǵymyn qalyptastyrdá jattyǵylar júesin qoldaný ádistemesi [The methodology of using the system of exercises in the formation of the concept of "energy"]. // Abai atyndaǵy Qazupý-niń habarshysy, "Fızika-matematika ǵylymdary" serıasy. №1(65). 142-147. (In Kazakh)
- 11 Kazbekova G.N., (2022) Ismagýlovaj.S.Inovasiyalyq STEM-bilim berý tásilin qalyptastyry [Formation of an innovative STEM-education approach]. *Iasayı únıversitetiniń habarshysy*. No3(125). 200-210. <https://doi.org/10.47526/2022-3/2664-0686.17> (In Kazakh)
- 12 A. Cowen. 13 Activities and Lessons to Teach Potential and Kinetic Energy. *Blog Posts on September 28, 2022 8:00 AM.*, <https://www.sciencebuddies.org/> 10.12.2022.
- 13 Interactive Simulations for Science and Math. <https://phet.colorado.edu/> 01.12.2022.
- 14 Ramankulov Sh., ChoruhA., Polatuly S. STEAM technology as a tool for developing creativity of students: on the example of a school physics course// *Iasauı universitetinin habarshysy*. –2022. –No4(126).–B.200–211. <https://doi.org/10.47526/2022-4/2664-0686.17>

Г.И. Салгараева¹, А.М. Базарбаева^{2*}

^{1,2}Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: aynur555a@gmail.com

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР САЛАСЫНДАҒЫ ПРАКТИКАҒА БАҒЫТТАЛҒАН ОҚЫТУ ЗЕРТТЕУЛЕРІНЕ ЖҮЙЕЛІ ШОЛУ

Аңдатпа

Соңғы жылдары жоғары оқу орындарында ақпараттық технология бағытында оқитын студенттерді практикаға бағыттап оқыту моделі кеңінен қолданыс табууда. Бұл модель кәсіби құзылеттіліктердің игерілуіне ықпал етеді және әдетте үшінші жақтың, яғни жұмыс берушілердің қатысуын талап етеді. Алайда көпжылдық зерттеулерге қарамастан, дәстүрлі тәсілмен салыстырғанда практикаға бағыттап оқытудың кейбір тәсілдерінің тиімділігі әлі де күмән тудырады. Бұл мақалада практикаға бағытталған білім беруде соңғы жылдарда жарық көрген жарияланымдардағы тенденциялар мен заңдылықтарды анықтауға және талдауға байланысты мәліметтер келтірілген. Зерттеу үш кезеңнен тұрады, бірінші кезең, Scopus дерекқорында мақалаларды белгілі бір критерийлер бойынша іріктеуден тұрады. Екінші кезең, іріктелген мақалаларға мазмұндық талдау жасап, ғылыми жарияланымдарда қолданылған әдістерді анықтау және библиографиялық талдау, өзекті тақырыптарды табу; соңғы кезең, нәтижелерді қорытындылаудан тұрады. Зерттеу барысында ғылыми жұмыстарда зерттеушілердің түрлі зерттеу әдістерін пайдалануы салыстырмалы түрде зерттелді. Жоғарыда көрсетілген библиографиялық талдау үшін VOSviewer қосымшасы қолданылды және талдау нәтижелері желілік визуализация арқылы көрсетілді.

Түйін сөздер: практикаға бағытталған оқыту, ақпараттық технологиялар, зерттеу әдістері, зерттеу тенденциялары, жүйелі шолу, контент талдау, библиографиялық талдау.

Аннотация

Г.И. Салгараева¹, А.М. Базарбаева²

^{1,2}Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В последние годы в вузах широко используется модель практического обучения студентов, в направлении информационных технологий. Данная модель способствует овладению профессиональными компетенциями и обычно требует участия третьих лиц, то есть работодателей. Однако, несмотря на многолетние исследования, эффективность некоторых подходов к обучению с упором на практику по сравнению с традиционным подходом все еще остается под сомнением. В этой статье представлены данные, связанные с выявлением и анализом тенденций и закономерностей в публикациях, опубликованных в последние годы в практико-ориентированном образовании. Исследование состоит из трех этапов, первый, состоящий из отбора статей по определенным критериям в базе данных Scopus. Второй этап состоит из содержательного анализа отобранных статей, обобщения и библиографического анализа методов, использованных в научных публикациях, поиска актуальных тем; заключительный этап-подведение итогов. В ходе исследования относительно изучалось использование исследователями различных методов исследования в научных работах. Для приведенного выше библиографического анализа использовалось приложение VOSviewer, и результаты анализа отображались с помощью сетевой визуализации.

Ключевые слова: практико-ориентированное обучение, информационные технологии, методы исследования, тенденции исследований, систематический обзор, контент-анализ, библиографический анализ.

Abstract

A SYSTEMATIC REVIEW OF RESEARCH IN PRACTICE-BASED LEARNING IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Salgarayeva G. I. ¹, Bazarbayeva A. M. ²

^{1,2} Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

In recent years, the model of practical training of students in the direction of information technology has been widely used in universities. This model promotes the acquisition of professional competencies and usually requires the participation of third parties, that is, employers. However, despite many years of research, the effectiveness of some

approaches to training with an emphasis on practice in comparison with the traditional approach is still in doubt. This article presents data related to the identification and analysis of trends and patterns in publications published in recent years in practice-oriented education. The study consists of three stages, the first consisting of the selection of articles according to certain criteria in the Scopus database. The second stage consists of a meaningful analysis of selected articles, generalization and bibliographic analysis of methods used in scientific publications, search for relevant topics; the final stage is summing up. In the course of the study, the researchers' use of various research methods in scientific papers was relatively studied. For the above bibliographic analysis, the VOSviewer application was used, and the results of the analysis were displayed using network visualization.

Keywords: practice-based learning, information technology, research methods, research trends, systematic review, content analysis, bibliographic analysis.

Кіріспе

Ақпараттық технологиялар кез келген ғылымның, тіпті күнделікті өміріміздің ажырамас бөлігі болып табылады. Сондықтан қазіргі таңда ІТ мамандықтарына деген қызығушылық күннен күнге артып келеді. Ақпараттық технология мамандығына арналған жоғары оқу орындарының ұсынатын білім беру бағдарламалары жиі өзгеріп тұратындығы бәрімізге мәлім. Бұл білім беру саласындағы жеке және мемлекеттік ұйымдар арасындағы жаңа әріптестік моделін енгізуге түрткі болды. ІТ компаниялары университетте аудитория немесе орталық құрып қана қоймай, сонымен қатар білім беру саласында кешенді қызметтерді де ұсынып отырады [1]. Білім мекемелерін жабдықтаумен қатар, олар өздерінің логотипі бар аудиторияларын жобалауға, университеттің қызметкерлері мен оқытушыларын қайта даярлауға, сондай-ақ аудиторияларды жаңа электрондық ресурстармен жабдықтауға инвестиция салады. Бұдан басқа, жұмыс берушілер қажетті құзыреттерді қалыптастыратын білім беру бағдарламаларын әзірлеуге және қайта қарауға қатысады. Сондықтан көбінесе жұмыс берушілер болашақ қызметкерлерінің алатын біліміне жаңа оқу пәндерін ұсынумен қатар, сол пәндердің практикалық сабағын өндіріс мекемелерінде оқытуды ұсынады.

Адами ресурстар мен олардың дамуын маңызды капиталға айналдыруда ақпараттық технологияны пайдалану арқылы білім берудің алатын орны зор. Елімізде жүргізіліп жатқан білім беру реформаларының жалпы мақсаты білім берудегі барлық салаларды түбегейлі жаңғырту арқылы жастарды жарқын болашаққа жетелеу болып табылады. Осыған орай, жоғары білім берудегі жаңа стандарттар практикаға бағытталған әдістер негізінде білім беру жүйесінің компоненттерін қайта құру үшін түлектердің болашақ кәсіби қызметіне жаңа мүмкіндіктер ашады [2].

Жұмыс берушілердің еңбек нарығындағы сұранысы бойынша болашақ ІТ мамандарының кәсіптік және жалпы жұмыспен қамту деңгейіне қоятын талаптары үнемі өзгеріп тұрады. Осы талаптарды орындау барысында өндірістің басқару жүйелеріндегі икемді технологияларды кеңінен қолдану үшін ғалымдар мен өнертапқыштардан бастап қарапайым орындаушыларға дейін қатысуына әкеледі.

Осы өзгерістер кәсіпорындардың қызметкерлеріне жаңа талаптардың қойылуына әкелді, оның ішінде келесі айтылғандарды атап өтуге болады: интеллектуалды дамудың және кәсіби құзыреттіліктің жоғары деңгейі; іске шығармашылық көзқараспен қарап, жұмыс жоспарын жасауға тікелей қатысуы; еңбек процесін жақсартуға деген ұмтылыс, өндірістегі өзгерістерді қабылдау; өз бетімен тиімді жұмыс жасау қабілеті, сыни ақыл-ой, қызығушылықтың жоғары дәрежесі; мінездің тұтастығы; көпшілікпен қосыла жұмыс жасау; пікір алмасу және команданың басқа мүшелеріне көмектесу қабілеті [3-5].

Әдебиеттерге шолу

Практикаға бағытталған оқыту - бұл нақты практикалық міндеттерді орындау арқылы кәсіби құзыреттілігін қалыптастыру мақсатында студенттердің білім беру бағдарламасын игеру процесі болып келеді. Оқытудың бұл түрі жалпы білім беру мен кәсіптік-қолданбалы дайындықтың оңтайлы үйлесіміне негізделуі тиіс [6].

Практикаға бағытталған әдістерді талдау, қолдану және түрлі салаларға енгізу бойынша ғылыми жұмыстар отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектерінде кеңінен қарастырылады және бұл тақырып бүгінгі күнге дейін өзекті болып табылады.

Зерттеу әдістерін салыстырмалы түрде қарастырған украин ғалымдарының жұмысына тоқталатын болсақ, Киев университетінің профессорлары мен жұмыс берушілер арасында жүргізілген сауалнама нәтижесі білім беру процессінде практикаға бағытталған білім беруді қолдайтындарын көрсетті. Сауалнамаға қатысушылар білім беру процессінде қандай оқыту түрлерін алға қою керек деген сұраққа жауап берген және келесі көрсетілген білім беру технологиялары арасынан таңдау жасаған: көп деңгейлі және пәнаралық оқыту, үздіксіз оқыту, құзыреттілікке негізделген оқыту, практикаға

бағытталған оқыту, жекелендірілген оқыту және т.б оқыту түрлері [7]. Нәтижелерге келетін болсақ, жұмыс берушілер оқыту жүйесінде ең алдымен практикаға бағытталған әдісті қолдайтынын көрсетті, ал оқытушылардың пікірінше практикаға бағытталған әдіс бірінші үштікте болуы қажет.

Көптеген ғылыми еңбектерде практикаға бағытталған әдіс студенттердің оқу және кәсіби қызметін интеграциялауды кешенді қамту негізінде қарастырылады. Практикаға бағытталған әдіс белгілі бір құзыреттіліктерді қалыптастыру үшін жағдай жасайтын кәсіптік оқыту процесінің негізгі құрамдас бөлігі ретінде ұсынылған. Студенттерді болашақ кәсіби қызметіне барынша жақындатумен ерекшеленетін бұл әдіс, қазіргі таңда жоғары оқу орындарында білім беруді кәсібилендірудің ең тиімді құралдарының бірі болып саналады. Көптеген ғалымдардың еңбектерінде практикаға бағытталған оқыту келесідей тұжырымдамалармен көрсетілген. Д.Ворнеке өз жұмыстарында, практикаға бағытталған әдіс – бұл теориялық және практикалық компоненттерде қолдануға арналған, оқу процесін кәсіби қызмет элементтерімен қанықтыру арқылы жүзеге асырылатын кәсіби оқытуды ұйымдастырудың белсенді түрі деп атап көрсетеді (Warneke D., 2007). Ал Е.М.Пост айтуынша, практикаға бағытталған тәсіл – болашақ мамандардың практикалық жұмыс дағдыларын қалыптастыратын педагогикалық процестің мазмұны мен әдістері болып табылады (Post E., 2010). С.Питч практикаға бағытталған тәсілді мамандарды кәсіби даярлауға арналған оқудағы проблемалық жағдайлардан, әдістемелік және ситуациялық тапсырмалардан тұратын жүйе ретінде қарастырады (Pietsch S., 2010).

И.В. Вяткина өз жұмысында практикаға бағытталған кәсіби даярлықтың бірнеше ерекшелігін атап өтті: 1) жоғары оқу орындарында жұмыс орнына ұқсас орта құру студенттердің кәсіби құзыреттіліктерді саналы игеру қажеттілігін ынталандырады; 2) кәсіптік даярлаудың практикаға бағытталған технологияларын енгізу студенттердің болашақ кәсіби қызметі үшін маңызды жеке қасиеттерін, сондай-ақ кәсіби міндеттерді орындау тәжірибесін қалыптастыруды қамтамасыз етеді; 3) дайындау бейіні бойынша кәсіби құзыреттілікті қалыптастыру негізінде студенттерді практикалық даярлау; 4) оқу бейініне сәйкес нақты кәсіби, ғылыми-практикалық және практикалық-өндірістік мәселелерді шешу мақсатында ЖОО-ларда студенттерді жұмыспен қамтудың инновациялық формаларын әзірлеу және енгізу [8].

Мақаламызда қарастырып отырған авторларымыз практикаға бағытталған тәсілдің мәнін тек болашақ мамандарды кәсіби даярлауға қатысты қарастырған. Десекте, бұл әдіс тереңінен зерттеуді қажет етеді.

Әдістемелік зерттеу

Бұл жазылған мақаланың негізгі мақсаты зерттеушілердің бұрынғы еңбектеріне сүйене отырып, практикаға бағытталған оқытудың зерттеулеріндегі қазіргі тенденцияларды анықтау. Әдістемелік зерттеуіміз қойылған мақсатымызға сәйкес төменде көрсетілген сұрақтардың жауабын табуы көздейді:

- (1) 2017 және 2022 жылдар аралығында зерттеулердегі қолданылған әдістер қандай?
- (2) Жарияланған мақалаларда қандай өзекті бағыттар қарастырылған?

Бұл зерттеуде практикаға бағытталған оқытудағы зерттеу үрдістері мен үлгілерін анықтау үшін жүйелі шолу (systematic review) (Gough, Oliver & Thomas, 2012) әдісі пайдаланылды. Жүйелі шолу үлкен көлемдегі әдебиеттерді зерттеу арқылы болашақ зерттеулерге бағыт беруде тиімді болып табылады және зерттеулерге мазмұнды талдау жасау үшін пайдаланылды [9]. Сонымен қатар, бұл зерттеуде сандық және сапалық тәсілдер қолданылды, яғни іріктелген жұмыстарда зерттеу әдістері туралы сандық есеп берілді. Ал сапалық зерттеуде мәтінді өңдеуде талданған практикаға бағытталған оқытудағы мақалалардың тақырыптары, аңдатпалары және түйінді сөздері библиографиялық талдау үшін қолданылды. Жалпы зерттеу кезеңдері 1-суретте көрсетілген.

Мақалалар келесідегі талаптар негізінде іріктелді (іздеу және іріктеу 2022 жылдың қыркүйегінде іске асқан болатын):

- 1) мақаланың тақырыбында, кілттік сөздерде немесе аңдатпасында таңдалған сөздердің болуы;
- 2) рецензияланған журналда немесе конференция материалдарында жариялануы;
- 3) Scopus дерекқорында индекстелуі.

Scopus дерекқорынан іздеу барысында "practice-based learning" кілттік сөзінде жазылған 1946-2022 жылдар аралығында 4595 мақала табылды. Сонымен қоса, алғашқы іріктеуге сәйкес мақалалардың саны тым көп болғандықтан, олардың санын азайтып, іріктеуді нақтылау үшін айтылғандай тағы да бірқатар талаптар қойылды, олардың ішінде:

- 4) мақалалар 2017-2022 жылдар аралығында жариялануы;
- 5) “computer science” білім саласынан болуы;
- 6) ағылшын тілінде ғана жарияланған мақала немесе конференция материалдарынан болуы.



Сурет 1. Жалпы зерттеу кезеңдері

Барлық іріктеуден өткен мақалалар саны 94 болды. Олардың жылдық санына келетін болсақ, 2017 жылдан ($n = 12$) олардың саны 2019 жылға дейін азайып ($n = 7$), одан соң 2022 жылға дейін артқан ($n = 28$) (сурет 2). Яғни, бұл қарастырып отырған жылдарда мақалалар саны 2,3 есе өскенін және тақырыптың көкейтесті болғанын көруге болады.



Сурет 2. Практикаға бағытталған оқыту бойынша басылымдарының өсу тенденциясы

Зерттеу нәтижелері және талдау

Мазмұндық талдау нәтижелері

Мақалаларға жасалған мазмұндық талдауға сүйенер болсақ (сурет 3), барлық іріктелген мақалалар арасында, 11,97% мақалаларында зерттеушілер негізінен аналитикалық әдістерді кеңінен қолданған, олардың ішінде мәліметтерді талдау әдістері (деректер синтезі, тақырыптық синтез, библиометрикалық талдау) ерекше назарға ие болған.

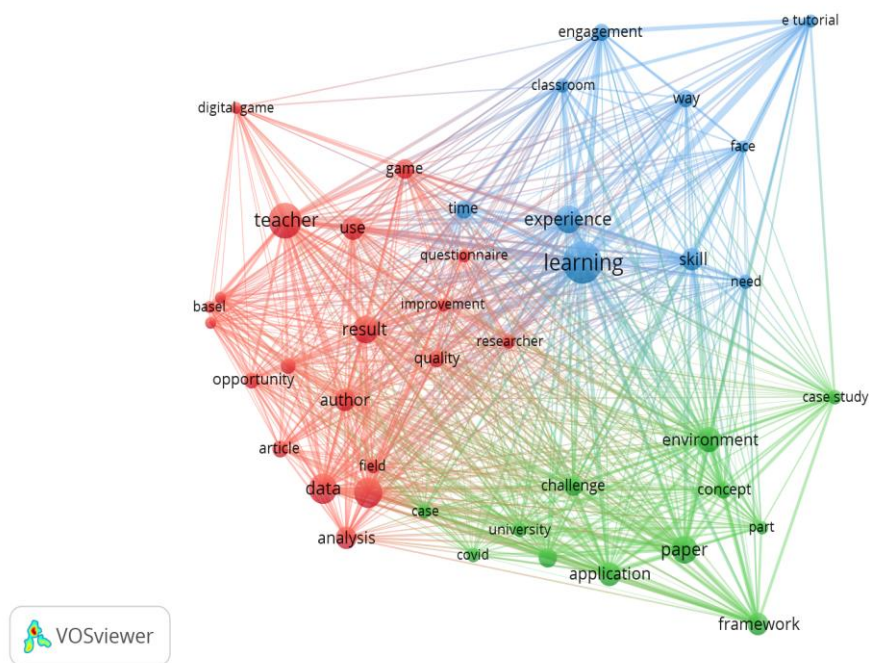


Сурет 3. Мақалаларда пайдаланылған әдістердің жіктелуі

Басылымдардың 9,12%-да түрлі сауалнамалар арқылы жүргізілген болса, ал зерттеулердің 3,42%-ы эксперименттік әдістерді пайдаланған. Ең аз қолданылған әдістер - кейс стади және интервью екенін анық көруге болады, себебі бұл әдістер жарияланылған мақалалардың 1,71% және 2,28% -ында ғана кездеседі.

Библиографиялық талдау нәтижелері

Мақалаларға библиографиялық талдау барысында практикаға бағытталған әдіс негізіндегі көптеген сөздік топшалар мен кілттік сөздер тобы анықталды (сурет 4). Талдау жұмыстарын жасау үшін Scopus дерекқорынан RIS форматында тақырыптар мен аңдатпалар экспортталып, VOSviewer бағдарламасына импортталды және де осы бағдарламада мәліметтер өңделді.



Сурет 4. Таңдалған басылымдарға негізделген библиографиялық талдаудың желілік визуализациясы

VOSviewer - ғылымның библиометриялық карталарын жасауға, визуализациялауға және зерттеуге арналған компьютерлік бағдарлама (Van Eck & Waltman, 2010).

Бағдарлама <http://www.vosviewer.com> сілтемесі бойынша қолжетімді және тегін болып келеді. VOSviewer библиометриялық желілік деректердің барлық түрлерін талдау үшін пайдаланылуы мүмкін, мысалы, басылымдар немесе журналдар арасындағы дәйексөз қатынастары, зерттеушілер арасындағы ынтымақтастық қатынастары, ғылыми терминдерді қолдану қатынастары және т.б [10]. VOSviewer мәтінді кең функционалды өңдеуді қамтиды, мысалы, мәтінді өңдеу мүмкіндігі құжаттарға негізделген терминдік карталарды құруға мүмкіндік береді. Терминдер картасы - бұл екі өлшемді карта, онда екі термин арасындағы қашықтықты терминдердің өзара байланысының көрсеткіші ретінде түсіндіруге болады. Жалпы, екі термин арасындағы қашықтық неғұрлым аз болса, соғұрлым терминдер бір-бірімен тығыз байланыста болады. Терминдердің өзара байланысы құжаттардағы сәйкестіктер негізінде анықталады. Бұл құжаттар, мысалға, ғылыми басылымдар (тақырыптар мен аңдатпалар немесе мақалалар), патенттер немесе газет мақалалары болуы мүмкін. Тағы да бір айтарлық нәрсе, VOSviewer құжаттарды тек ағылшын тілінде өңдей алады.

VOSviewer бағдарламасында бинарлы санау әдісі емес, толық санау әдісін таңдалынды. Себебі толық санау әдісінде мақала атында және аңдатпасында терминнің неше рет қайталанғаны ескіріледі. Элементтің картада пайда болуы үшін сөз кем дегенде 10 рет кездесу керек деген шарт орната отырып, 3178 элемент арасынан 70-сі ғана осы шартты қанағаттандыра алды. Көріп тұрғанымыздай осы элементтер, үш жетекші кластер үш түрлі түспен берілген:

1. Көк кластер (10 элемент, 218 кездесу): оқыту, тәжірибе, дағдылар, уақыт, қатысу және т.б тақырыптарды қамтиды;
2. Қызыл кластер (20 элемент, 571 кездесу): оқытушы, технология, деректер, талдау, ойын, зерттеуші және т.б сөздерге негізделген;

Пайдаланылган әдебиеттер тізімі:

- 1 Trubilin, A. *Practical training of students of agrarian universities as a key element in training future specialists in the agro-industrial complex* //Revista on line de Política e Gestão Educacional. – 2022. – С. 5–7. doi:10.22633/rpge.v26iesp.2.16548
- 2 Шкутина Л. А. *Практико-ориентированное обучение будущих педагогов в условиях современного образования* //Конференциум АСОУ: сборник научных трудов и материалов научно-практических конференций. – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области Академия социального управления, 2017. – №. 2. – С. 1406-1411.
- 3 Duda, J. *Gender Influence on Students' Requirements of Employee Benefits* //Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science. – 2016. – Т. 9. – №. 4. – С. 97-102.
- 4 Sokolova, A. *The new system of qualification requirements for personnel changes the requirements for employees of personnel services.* [Текст] // Journal of Public Administration, – 2018. – №5(1). – 61-67p.
- 5 Daling, L., Schröder, S., Haberstroh, M., & Hees, F. *Challenges and Requirements for Employee Qualification in the Context of Human-Robot-Collaboration.* 2018 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), – 2018. Genova, Italy, – 85-90 p.
- 6 Полисадов, С. *Практико-ориентированное обучение в вузе* //Уровневая подготовка специалистов: электронное обучение и открытые образовательные ресурсы: сборник трудов I Всероссийской научно-методической конференции, 20-21 марта 2014 г. —Томск. – 2014. – С. 349-352.
- 7 Gumenyuk T. *Transformation of professional training of students in the context of education modernization* //Studies of Applied Economics. – 2021. – Т. 39. – №. 5. DOI: 10.25115/eea.v39i5.4779
- 8 Wilson, V. *Research methods: Content analysis* //Evidence Based Library and Information Practice. – 2016. – Т. 11. – №. 1 (S). – С. 41-43.
- 9 Kaushik A., Naithani S. *A comprehensive study of text mining approach* //International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 69.
- 10 Hearst M. *What is text mining* //SIMS, UC Berkeley. – 2003. – Т. 5.

References:

- 1 Trubilin, A. *Practical training of students of agrarian universities as a key element in training future specialists in the agro-industrial complex* //Revista on line de Política e Gestão Educacional. – 2022. – С. 5–7. doi:10.22633/rpge.v26iesp.2.16548
- 2 Skutina L.A. *u dp. Praktiko-orientirovannoe obuchenie budushhikh pedagogov v usloviyakh sovremennogo obrazovaniya* [Practice-oriented training of future teachers in the conditions of modern education]// Conferences of the ASoM: collection of scientific papers and materials of scientific and practical conferences. – State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow region Academy of Social Management, 2017. – №. 2. – С. 1406-1411.
- 3 Duda, J. *Gender Influence on Students' Requirements of Employee Benefits* //Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science. – 2016. – Т. 9. – №. 4. – С. 97-102.
- 4 Sokolova, A. *The new system of qualification requirements for personnel changes the requirements for employees of personnel services.* [Текст] // Journal of Public Administration, – 2018. – №5(1). – 61-67p.
- 5 Daling, L., Schröder, S., Haberstroh, M., & Hees, F. *Challenges and Requirements for Employee Qualification in the Context of Human-Robot-Collaboration.* 2018 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), – 2018. Genova, Italy, – 85-90 p.
- 6 Polisadov, S. *Praktiko-orientirovannoe obuchenie v vuze* [Practice-oriented education at the university]// Level training of specialists: e-learning and open educational resources: proceedings of the I All—Russian Scientific and Methodological Conference, March 20-21, 2014. – Tomsk. – 2014. – С. 349-352.
- 7 Gumenyuk T. et al. *Transformation of professional training of students in the context of education modernization* //Studies of Applied Economics. – 2021. – Т. 39. – №. 5. DOI: 10.25115/eea.v39i5.4779
- 8 Wilson, V. *Research methods: Content analysis* //Evidence Based Library and Information Practice. – 2016. – Т. 11. – №. 1 (S). – С. 41-43.
- 9 Kaushik A., Naithani S. *A comprehensive study of text mining approach* //International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 69.
- 10 Hearst M. *What is text mining* //SIMS, UC Berkeley. – 2003. – Т. 5.

ORGANIZATION OF MOBILE LEARNING AS A INNOVATION TECHNOLOGY IN EDUCATION

Tileubay S.¹, Doszhanov B.¹, Almenayeva R.¹, Zharmenova B.¹, Mussagulova G.^{1}*

*¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan
e-mail: erkegulia@mail.ru

Abstract

The authors, taking mobile learning as a promising vector of digital pedagogy, describe the advantages of using mobile learning technologies in the process of organizing the educational process and revealing the content of their mobile applications in the educational process. The article discusses the directions of using mobile learning in modern education, as well as the organization of mobile learning as an innovative technology in pedagogy. Today, mobile learning is a rapidly developing and promising area in education. Mobile technologies have made learning more flexible. It is noted that despite the wide distribution and availability of mobile phones among students, mobile learning is poorly distributed in domestic universities. It is concluded that the capabilities of mobile devices are constantly growing and they can be widely used as educational tools and take center stage in education.

Keywords: mobile learning, interactive learning environment, mobile applications, pedagogical research, higher education, teaching method.

Аңдатпа

С.Ш. Тілеубай¹, Б.А. Досжанов¹, Р.У. Альменаева¹, Б.К. Жарменова¹, Г.Ш. Мусагулова¹

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

МОБИЛЬДІ ОҚЫТУДЫ БІЛІМ БЕРУДЕГІ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ РЕТІНДЕ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Авторлар мобильді оқытуды сандық педагогиканың перспективалық векторы ретінде алып, оқу процесін ұйымдастыру барысында мобильді оқыту технологияларын пайдаланудың артықшылықтарын сипаттайды және білім беру үдерісіндегі мобильді қосымшаларының мазмұнын ашады. Мақалада қазіргі білім беруде мобильді оқытуды қолдану бағыттары, сонымен қатар педагогикадағы жаңа технология ретінде мобильді оқытуды ұйымдастыру қарастырылады. Бүгінгі таңда мобильді оқыту - бұл білім беруде қарқынды дамып келе жатқан перспективалы бағыт. Мобильді технологиялар оқытуды икемді етеді. Студенттер арасында ұялы телефондардың кең таралуы мен қол жетімділігіне қарамастан, отандық жоғары оқу орындарында мобильді оқыту жай таралып жатқандығы атап көрсетілген. Мобильді құрылғылардың мүмкіндіктері үнемі өсіп, оларды оқу құралы ретінде кеңінен қолдануға болады және ол білім беруде басты орын алады деген қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: мобильді оқыту, интерактивті оқыту ортасы, мобильді қосымшалар, педагогикалық зерттеулер, жоғары білім, оқыту әдісі.

Аннотация

С.Ш. Тілеубай¹, Б.А. Досжанов¹, Р.У. Альменаева¹, Б.К. Жарменова¹, Г.Ш. Мусагулова¹

¹Қызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан

ОРГАНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ КАК ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

Авторы, взяв мобильное обучение в качестве перспективного вектора цифровой педагогики, описывают преимущества использования мобильных технологий обучения в процессе организации учебного процесса и раскрывают содержание своих мобильных приложений в образовательном процессе. В статье рассматриваются направления использования мобильного обучения в современном образовании, а также организация мобильного обучения как новой технологии в педагогике. На сегодняшний день мобильное обучение является быстро развивающимся и перспективным направлением в образовании. Мобильные технологии сделали обучение более гибким. Отмечается, что несмотря на широкое распространение и доступность мобильных телефонов среди студентов, мобильное обучение слабо распространено в отечественных вузах. Делается вывод, что возможности мобильных устройств постоянно растут и они могут широко использоваться в качестве образовательных инструментов и занять центральное место образования.

Ключевые слова: мобильное обучение, интерактивная среда обучения, мобильные приложения, педагогические исследования, высшее образование, метод обучения.

Introduction

The state program for the development of education and science in the Republic of Kazakhstan for 2020-2025 states that "work on the development of digital infrastructure (wireless communications, cloud technologies, microservices, computers, and peripheral equipment, local area network, broadband internet access, etc.) of educational organizations will continue" [1].

The use of digital technologies in activities at any level of education is the only guarantee of access to quality education. This is also shown by world experience in developed countries. In this regard, the purpose of education today has also changed. This goal is not only for any young generation to learn and achieve the necessary competencies, but also for the formation of an individual who can perform the necessary activities, have a professional and social reputation, find and effectively use the necessary information, have a well-developed personality, correctly assess their own and others' activities, make a significant contribution to the social and economic development of the country [2].

The importance of the development of education at any level in the country, the relevance of its social responsibility – is justified by the ability to acquire the necessary knowledge and use it in practice. High success in the development of education can be achieved only through the effective use of innovative technologies and new teaching methods.

Time itself has proven that the continuous desire to create innovative technologies and equipment, no matter what industry it is, makes great strides in comparison with the existing ones so far. As practice shows, when a new technology appears, its potential is not fully manifested, that is, it is not immediately clear to all members of society. Similarly, the possibilities of mobile technologies have not yet been fully disclosed. It has been proven over time that we can consider it as one of the innovations that have the ability to change and update the existing values. In a short time, mobile technologies have contributed to the rapid and high-quality implementation of human needs, as well as an increase in the quality of human life.

Today, mobile technology is of particular importance in all areas of human activity. The growth of demand for mobile technologies in the conditions of the global market proves the relevance, necessity, and efficiency of its activities.

In the field of education, innovative technologies such as distance education, mass open online courses, video conferences and webinars, electronic and digital educational resources, and mobile learning contribute to improving the quality of education to a new level. One of them is mobile technologies – the only technology that allows you to use new methods of teaching, on the basis of which it provides an effective way to learn.

In modern times, it is impossible to imagine the life of humanity without these mobile devices. The intensive dissemination of information through mobile devices has led to a multiple increase in the number of users of mobile devices.

Mobile learning has grown exponentially in recent years, coinciding not just with the rise of smartphones and handheld devices, but also the level of dependency individuals place on the technology. According to Marketing Land, 65% of all digital media is viewed on smartphones. According to DScout, the average person spends nearly three hours on their smartphone each day, touching the screen more than 2,600 times and glancing at it roughly 221 times. With these numbers in mind, it's no surprise that learning has found a niche market in the mobile world. According to Report Linker, the global mobile learning market will hit over US 78.5 billion by 2025.

The possibilities and prospects of mobile learning are studied in detail in the works of foreign scientists. In particular, Turkish scientists Abdulvahap Sonmez, Lütfiye Gocmez, Derya Uygu and Murat Ataizi reviewed the literature on mobile technologies and analyzed the state of its research and development directions in the article [3]. It highlighted the various definitions of mobile technologies, their differences from e-learning, and highlighted its advantages and difficulties.

Mobile learning is a technology in education that facilitates the work of teachers, expands capabilities, strengthens the depth of knowledge, and is considered as an auxiliary tool in addition to the main form of learning [4].

Thus, mobile learning is a technological tool that organizes communication between the proposed knowledge and its user. Mobile Learning makes sense only if the technology used is fully mobile and the users of the technology are mobile during the training period. These findings give the meaning of learning mobility and the term "mobile learning" [5].

The authors Matthew L. Bernackia, Jeffrey A. Greenea, Helen Crompton [6] of the article consider the role of mobile technology and its achievements in mobile technologies and education. Articles by Camilleri M.A., Camilleri A.C. [7] examined preparation for learning with mobile applications.

Mobile learning opens the way to a new quality in educational activities and allows you to quickly access information at any time. First of all, you need a mobile device to participate in mobile learning and you need to change your mobile device frequently to take advantage of the achievements of innovation technologies. Currently, various mobile devices are widely used in education: smartphones, mp3 players, tablets, laptop computers and audio devices. Modern students are used to using smartphones and spend most of their time doing this every day.

Research methodology

Currently, Mobile Learning is very relevant, on the one hand, it is a new form of learning, and on the other hand, it is convenient for practical use. The programs Platonus, Zoom, Google Classroom, Obs Studio, Screen Cast, etc. are widely used in teaching at the distance learning stage in higher education institutions. Each of these programs has its own characteristics for distance learning teachers. Teachers record video lessons using these programs and use them in online lessons. These programs are accessible to students, convenient for self-education purposes, and convenient for feedback.

Therefore, the use of mobile technologies in education is not a problem for students and it is convenient for them to provide educational material in a mobile version.

According to UNESCO research, the advantages of using mobile devices in education over other technologies are as follows:

- *Mobility*. Mobile devices allow to organize the learning process from anywhere, regardless of time. There are two aspects of mobility: first, it can provide education in a place where teachers are physically unable to move in real time, and second, modern technologies, especially cloud data storage systems can carry out education without being dependent on any device. Even if the user changes their mobile phone, it is possible to access training materials through cloud storage. Students can also learn through an online forum and chat.

- *Continuity of education*. Projects in the field of mobile education in comparison with information technologies are continuous and have unlimited access to technology for students. Mobile devices are always close to the person and make the educational process continuous: students can complete a given task at any time they want.

- *Personalization of knowledge*. Mobile devices help students choose their own level of difficulty of tasks and accept it in a convenient way. That is, the creators of educational programs for mobile purposes use various information: text, graphics, and video materials. Mobile devices are used for self-assessment of results to consolidate the topic.

- *Improving the quality of communication*. Mobile devices can quickly and efficiently establish good relationship and feedback between students and teachers. In addition, innovative technologies can be effectively used in education, providing high-quality support for training in any format. Mobile tools create a convenient and accessible, interesting learning method for students [8].

The teacher's activities aimed at ensuring the quality of education can be divided into three main components:

1. Content (What should be taught?) - mastering new educational programs, participation in projects of different levels, content selection;

2. Action-Based (how to train?)- introduction of modern educational technologies, including ICT;

3. Procedural (how to organize pedagogical interaction?) - determining the conditions and ways to achieve pedagogical goals.

In providing the teacher's activities described above, you can use a large number of available sets of mobile learning technologies. In the implementation of projects for the introduction of mobile learning technologies in education, the didactic capabilities of various mobile devices: smartphones, mp3 players, tablets and audio tools began to be studied and optimized for education [9].

Smartphones and tablets are mobile devices equipped with a touch screen, a Wi-Fi module that provides internet access, a camera, a sound sensor (microphone), a GPS sensor and operating systems for installing various applications. The use of smartphones, tablets and other mobile digital devices as didactic resources in education at universities gives very effective results.

In general, in order to be able to effectively use mobile technologies in education, teachers must possess the following knowledge:

- know how to use smart technologies in conducting subject, interdisciplinary and special courses;
- ability to critically select smart technologies in education;

- knowledge of what knowledge and skills students should master to carry out educational personal development activities, the level of need for smart technologies to achieve this goal;
- students should know new methods of assessing their knowledge, skills and abilities.

Along with many advantages, the use of mobile learning in education has its own difficulties and disadvantages. These include the following issues:

1. Technical issues:

- small screen and keyboard size on mobile devices;
- the problem of internet addiction;
- availability of a monthly payment to the mobile provider;
- mobile devices only work with power supply;
- limited memory capacity;
- information security issues;
- lack of a single standard for mobile platforms and devices;
- risk of losing mobile device.

2. Social and educational issues:

- not all students have the opportunity to purchase the appropriate mobile devices;
- occurrence of problems related to the assessment of educational results;
- issues related to the security of educational content;
- very fast development of mobile technology;
- unpreparedness of pedagogical theory due to mobile learning;
- conceptual difference between e-learning and mobile learning;
- issues related to the security of personal information;

In general, as the scale of mobile application use increases in practice, the relationship between teacher and student decreases. That is, this form of education slows down relationships, trust, leadership, the ability to work in a team, etc.

The use of mobile technologies allows for the following positive changes in the learning process:

- does not create the need to create computer classes using special funds;
- gives the teacher freedom of choice to provide students with online applications, depending on the need and specifics of the application;
- provides dynamic learning as it does not depend on a specific location;
- during the discussion and exchange of electronic educational material by students, the role of the teacher is transferred from the narrator of knowledge to the guide, organizer of Education and Manager;
- coordinates and connects formal and informal learning;
- the student's appeal to mobile devices to receive the necessary information contributes to the fact that he is constantly on the lookout and continues his education;
- creates conditions for lifelong education and career growth of a person.

In addition to the fact that mobile learning is used as an additional form of e-learning in our country, the reasons why it is still not fully used at the required level [10]:

1. Insufficient quality educational content and a small number of necessary prerequisites for its implementation.
2. Lack of a unified system used for mass education.
3. High cost of network communication services.

However, all these problems can be solved by an in-depth study of the possibilities of mobile learning in education.

According to John Traxler, the following categories of mobile learning are distinguished [11]:

- Technology-driven mobile learning - some specific technological innovations are placed in an academic setting to demonstrate technical feasibility and pedagogical capabilities.
 - Miniature but portable eLearning - mobile, wireless, and portable technologies are used to replicate approaches and solutions that are already used in conventional electronic learning tools. For example, the migration of some e-learning technologies, such as virtual learning environment (VLE), to these technologies, or, for example, the flexible replacement of static desktop technologies with mobile technologies.
 - Connected classroom learning - the same technologies are used in the classroom to support collaborative learning, possibly in connection with other technologies in the classroom, such as interactive whiteboards.

Informal, personalized, situational mobile learning - the same technologies are enhanced with additional functionality, such as local awareness or video transmission, and are aimed at educational activities that would otherwise be difficult or impossible.

Mobile training/performance support - technologies are used to improve the productivity and efficiency of mobile employees, providing information and support, just in time and in the context of their immediate priorities.

Remote /rural/ developing mobile technologies are used to address the environmental and infrastructural challenges provided to education and support it where conventional e-learning technologies would not work, which has often been accepted in developing or evolutionary paradigms.

Considering specific forms and methods of implementing mobile technologies in the educational process, it should be mentioned following points:

1. A mobile phone provides Internet access to sites with training information and is used as a form of distance learning. The first and most common method is to use a mobile phone as a means of accessing the global network. It is possible to organize access to specialized websites containing electronic training courses, tests, practical tasks and additional training materials (drawings, photos, audio and video files). It is also possible to exchange e-mail for educational purposes and exchange instant messages in ICQ and QIP programs, versions of which also exist for mobile phones. Thus, at all stages of training, there are many opportunities for transmitting information materials to the student, as well as monitoring the entire learning process and helping to solve emerging problems.

2. A mobile phone is a means of playing audio, text, video, and image files containing training information.

The second possible way to use mobile phones for training is to use special programs for mobile phone platforms that can open and view files of office programs, such as Word, Power Point. Thus, having such files containing training information in the mobile phone memory, you can view their versions adapted specifically for the phone screen, with convenient scroll bars, a suitable font, and a user-friendly interface.

Also, the source of information can be video and audio files, programs-players for which are available in every phone of the last years of release. This opportunity is especially valuable for those who want to learn foreign languages – there are a huge number of audio courses and audiobooks available, including files of different formats and lengths.

An example of the successful application of this method of teaching is several educational programs at universities in Japan and China. Considering mobile technologies, teachers at these universities consider them very promising in the conditions of informatization of modern society.

The National Cyber Institute in Japan, which specializes in distance learning via the Internet, has proposed an innovative system of training. Using a mobile phone, which allows you to study any discipline, both at home and in a cafe or in the subway. If the text of the lecture and all the necessary drawings are shown in the center of the screen on the computer during the lesson, and a video recording of the lecture itself is broadcast in the corner, then the mobile phone version is based on video streaming technology, and all texts and drawings are downloaded additionally.

3. The mobile phone and its functionality allow you to organize training using adapted electronic textbooks, training courses, and specialized types of files with training information – training manuals are developed directly for mobile phone platforms. Another way to use mobile phones for teaching is to use specialized electronic textbooks and courses adapted for viewing and performing on students' mobile phones. Students are invited to download Java applications to their phones, which contain, for example, tests in certain subjects, as well as information (electronic textbooks, lecture texts) necessary for their successful implementation. Modern technologies make it quite easy to design and implement such electronic manuals programmatically. The ability to place diagrams, drawings, and formulas makes writing e-learning courses for mobile phones universal and applicable to absolutely any subject being studied. It is also possible to implement training programs in the game shell, using the graphics capabilities of phones, but the implementation of such applications is a rather complex and time-consuming process. As a result, writing electronic textbooks and subject testing programs for mobile phones seems to be a more prospective direction. There are a huge number of special applications for mobile phones, such as calculators of varying degrees of complexity (simple, scientific), office programs for mobile phones, applications containing different tests with answers (for example, for psychologists), etc.

The current generation of students has grown up using mobile phones. It is based on the results of the conducted research. Based on the Comscore study, the majority of mobile phone supporters, namely 77%, are users between the ages of 18 and 34. It also found that users between the ages of 13 and 24 are the most active

audience of mobile apps. In this way, we can conclude that mobile learning will be fully implemented among students.

In one of the studies conducted by foreign scientists aimed at determining the effectiveness of using mobile phones in teaching, the majority of the 106 students (87,74 %) primarily use their mobile phones to make calls, 80,19% to listen to music, and 74,53% to study. Despite the high rating of students' use of mobile devices in teaching, it has been found that teachers rarely offer effective learning applications [12].

Currently, there are about 2.5 million apps in the iOS App Store and Google Play, of which about 200 thousand are dedicated to education. According to research conducted by Statista (www.statista.com), as of June 2021, among the available applications in the Apple App Store, educational applications are in third place, the share of which is 8.67%. It was found that 52.1% of the total audience downloads educational apps.

In their works, S. Bimasheva, Sh.G. Iskakova and A.A. Shibintaeva try to identify the current state and prospects of using mobile technologies in teaching a foreign language by reviewing research. Based on the results of the study, empirical studies conducted in modern Australia, China, Iran, Turkey, Saudi Arabia, Cyprus, Japan, Malaysia, Spain, Taiwan, and other countries have concluded that in most cases the use of mobile technologies in teaching foreign languages gives a positive result due to a number of advantages of mobile devices compared to classical pedagogical tools [13].

Results and discussion

In the process of organizing mobile learning as an innovative technology in education, the research work covered the stages of identification, development, and formation.

At the identification stage, the state of mobile learning tools used in education was determined. In this regard, the purpose and scientific forecast of the study were determined.

At the development stage, the principles of operation of technical equipment used in mobile training were considered. Further, the didactic opportunities of mobile technologies in the development of education were studied.

At the stage of formation, the relevance of mobile learning technologies to pedagogical activity was studied.

In the course of the work, we conducted a survey to determine students' understanding of mobile learning. The survey also aims to study and analyze the crucial factors to overcome possible gaps in the use of mobile learning in higher education.

The questionnaire is a methodological form of research, which is the collection of data using structured questionnaires filled out by respondents. In the context of the experiment, the questionnaire can be used as one of the tools for data collection. Here are a few key aspects of the survey as a methodological form of experiment:

Purposefulness: The questions in the questionnaire are formulated in such a way as to get specific and targeted answers from respondents.

Objective data: The survey allows you to collect quantitative data, which provides the possibility of statistical analysis and obtaining objective conclusions.

Scalability: This method allows you to collect information from a large number of participants, which makes it scalable.

Anonymity and confidentiality: Questionnaires are often anonymous, which contributes to more open responses, especially on sensitive topics.

Saving time and resources: Conducting a survey can be an effective way to collect data from a large number of participants in a short period.

The questionnaire as a methodological form of experiment provides researchers with a powerful tool for collecting qualitative data, providing important practical research opportunities.

Our survey involved students of 1-4 courses of Korkyt Ata Kyzylorda University, studying in the specialty 6B01517 - Biology. 8 questionnaires were developed to measure students' assessment of the effectiveness of mobile learning. The questionnaire consisted of the following questions:

1. Mobile learning can be an effective way to learn, as it can provide instant support.
2. Mobile learning opens new learning opportunities.
3. Mobile learning becomes a flexible way to learn, as it can be learned anytime and anywhere.
4. Mobile learning improves student-teacher communication.
5. Mobile learning is a quick way to get feedback in the learning process.
6. Mobile learning cannot be used for learning:
7. Lack of mobile phones in most students.

8. Costs associated with mobile training.
9. Poor communication quality.

The answers were measured on the Lincert scale of up to five points with categorical consent: in the range from "completely agree" to "completely disagree", a score above 3.0 indicates relative importance. The total number of respondents was 176 people. Age and gender were not taken into account during the survey. Google Forms was used as a survey tool. The questionnaires were collected at the end of the semester in May 2021. During this training period, a mixed training format was conducted in accordance with the quarantine situation in the country. Descriptive statistics on the effectiveness of mobile learning based on the results of the study are shown in Table 1 and diagrams (Fig. 1-5).

Table 1. Descriptive statistics on the effectiveness of mobile learning

№	Survey indicators	Totally agree	Agree	Neutral	Disagree	Completely disagree	Total
1	Mobile learning can be an effective way to learn, as it can provide instant support diagram 1.	50	75	28	21	2	176
2	Mobile learning opens new learning opportunities diagram 2.	64	86	21	5	-	176
3	Mobile learning becomes a flexible way to learn, as it can be learned anytime and anywhere diagram 3.	97	75	4	-	-	176
4	Mobile learning improves student-teacher communication diagram4.	10	28	51	54	33	176
5	Mobile learning is a quick way to get feedback in the learning process diagram 5.	68	57	24	26	1	176
<i>Mobile learning cannot be used for learning</i>							
1	Lack of mobile phones in most students.	91	71	10	4	-	176
2	Costs associated with mobile training.	81	71	19	4	1	176
3	Poor communication quality.	73	61	23	13	5	176

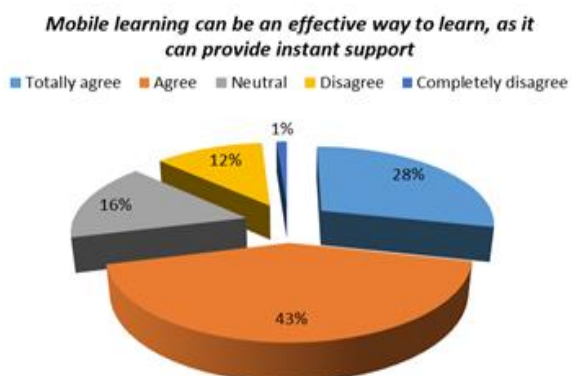


Fig. 1. Mobile learning can be an effective way to learn, as it can provide instant support

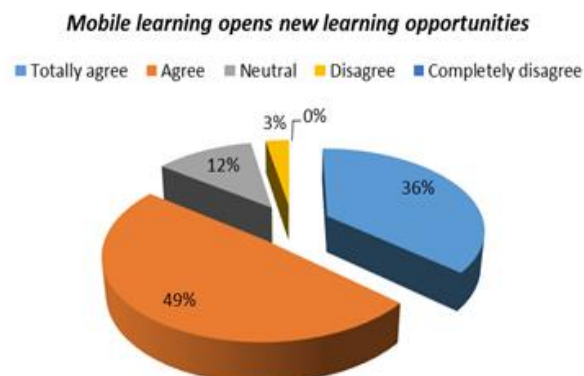


Fig. 2. Mobile learning opens new learning opportunities

Mobile learning becomes a flexible way to learn, as it can be learned anytime and anywhere

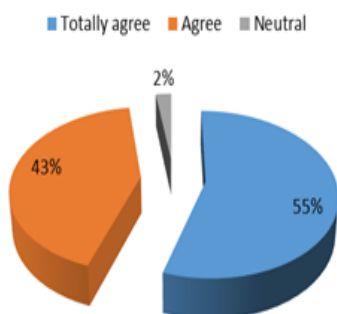


Fig. 3. Mobile learning becomes a flexible way to learn, as it can be learned anytime and anywhere

Mobile learning improves student-teacher communication

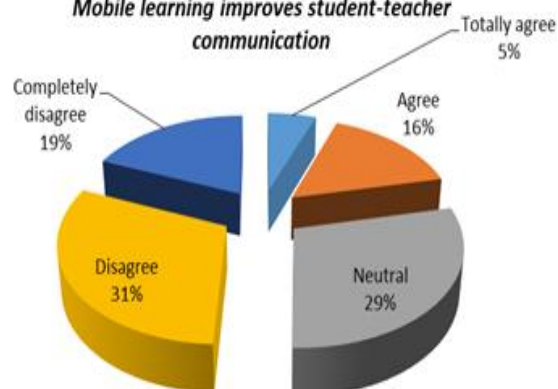


Fig. 4. Mobile learning improves student-teacher communication

Mobile learning is a quick way to get feedback in the learning process

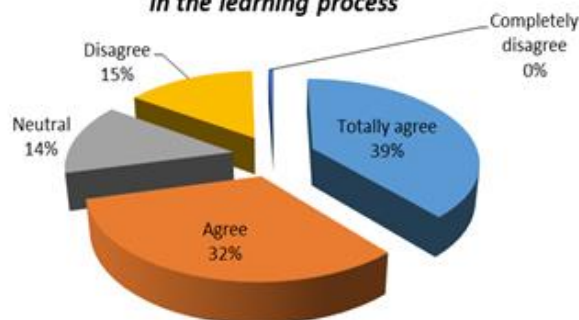


Fig. 5. Mobile learning is a quick way to get feedback in the learning process

From the diagrams, we can see the relative importance of the indicators, and according to the table, we can see that more than 70% of these respondents support mobile learning as an effective method of learning. The study shows that students are attracted by the ease of use of mobile learning. The survey also found that poor communication and learning costs were important barriers for students. Although mobile learning is chosen as a quick way to get feedback in the learning process, they have expressed that they do not see it as a tool to improve communication between students and teacher. As a result, we can conclude that mobile learning can be an effective method of learning.

Conclusion

Summing up, the use of mobile technologies accelerates the learning process, increases students' interest in the subject, teaches self-education, and strengthens the relationship between the teacher and the student in the learning process. Currently, mobile learning is a new direction in education.

The evolution of technology and the development of mobile applications in the last few years, especially for higher education, have been nothing short of spectacular. The flexibility, cost benefits, and effectiveness of mobile learning further hold great potential for the future.

Mobile learning is an innovative and promising technology. It allows the student to create, receive, or provide educational information in any format, significantly expanding the educational resources and educational environment of educational institutions [14].

It is known that the idea of mobile learning arose from the goal of making the most of the educational opportunities offered by mobile technologies. The mobile learning method allows students to learn at any time and place using the resources available to them. It also allows students to realize their needs for study and search in several educational institutions. Such opportunities influenced the emergence of a whole system of innovative teaching methods [15].

Mobile learning in education comes up with a distinct approach that helps address several of the common educational issues seen in other traditional modes of learning. The evolving technological landscape and tools have set the stage for learning that can harness the speed and ubiquity of digital capability.

References:

- 1 State program for the development of education and science of the Republic of Kazakhstan for 2020-2025. -2019.
- 2 Maulinberdina G.R. (2019) Bilim berudjegi cifrlandyrudyn zhahandyk urdisteri [More information about digital resources]. «Cifrlыk Kazakstan» bagdarlamасыn zhuzege asyru ajasynda adami kapitaldy damytu»: takyrybyndagy oblystyк gylymi tazhiribelik konferenciya materialdary. – Aktobe: «Orleu», 435. (In Kazakh)
- 3 Sönmez A., Göçmez L., Uygun D. & Ataizi M. A Review of current studies of mobile learning //Journal of Educational Technology & Online Learning.-2018.-№ 1(1).–13-27.
- 4 Zakaryanova A.B. Mobile technologies in the educational process // Materials of the Republican scientific and practical conference "Smart technologies in the system of Advanced Training: International experience and domestic practice" within the framework of the 25th anniversary of independence of the Republic of Kazakhstan.- Uralsk, 2016.- P. 232-238.
- 5 Loginova A.V. Use of mobile learning technologies in the educational process //Young Scientist. - 2015. - № 8. - P. 974-976.
- 6 Matthew L. Bernackia, Jeffrey A. Greenea, Helen Crompton. Mobile technology, learning, and achievement: Advances in understanding and measuring the role of mobile technology in education // Contemporary Educational Psychology. -2020.- №101827.
- 7 Camilleri M.A and Camilleri A.C. The students' readiness to engage with mobile learning apps // Interactive Technology and Smart Education.-2019.-Vol. 17 №1.-P. 28-38.
- 8 <https://doi.org/10.1108/ITSE-06-2019-0027>.
- 9 Doskazanov Ch. T., Danenova G. T., Kokkoz M. M. The Role of mobile applications in the education system // International Journal of Experimental Education. - 2018. - № 2. - P. 17-22.
- 10 Alabina T. V. Mobile training and mobile applications in education//Infourok. - 2017.
- 11 Vázquez-Cano, Esteban. Mobile Distance Learning with Smartphones and Apps in Higher Education. Educational Sciences: Theory & Practice, 2014
- 12 Traxler John. Current State of Mobile Learning // International Review on Research in Open and Distance Learning (IRRODL).-2007.- №2
- 13 www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/346/875
- 14 Sihong Zhang Mobile English Learning: An Empirical Study on an APP, English Fun Dubbing // International Journal of Emerging Technologies in Learning.-2020.-11.
- 15 <https://researchonline.jcu.edu.au/47218/>
- 16 Bimasheva G.S., Iskakova SH.G., Shibintaeva A.A. Mobil'nye tekhnologii kak instrument obucheniya anglijskomu yazyku kak inostrannomu [Mobile technologies as a tool for teaching English as a foreign language] //Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің Хабаршысы. -2021. -№ 2(86).-158-168.
- 17 Almnaeva R. U. Methodological possibilities of using mobile learning technologies in biological education // Bulletin of the Kazakh National Women's Pedagogical University. -№ 3(83).-2020. -21-30.
- 18 Uskova B.A., Fominyh M.V. (2021) Mobil'nye tekhnologii kak novyj jelement sistemy obucheniya [Mobile technologies as a new element of the educational system]. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. №1.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30525> (data obrashhenija: 06.10.2023). (In Russian).

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.147:004.7

10.51889/2959-5894.2023.83.3.029

П.Қ. Тазабекова^{1*}, Ж.К. Нурбекова², Г.И. Аймичева³, Д.С.Найманова⁴

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

³Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

⁴Торайгыров университет, г. Павлодар, Казахстан

*e-mail: tazabekova.p@qyzpu.edu.kz

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация

Статья посвящена систематическому обзору исследований в области применения сквозных цифровых технологий в образовании на примере AR-технологий. Использование сквозных цифровых технологий предполагает подготовку специалистов в соответствии с требованиями рынка, генерацию идей и разработку цифровых прорывных технологий за счет внедрения международного опыта использования цифровых образовательных технологий и повышения эффективности профессиональной подготовки педагогических кадров. В статье затрагивается одно из направлений сквозных цифровых технологий связанных с применением AR-технологий в образовании. Эффективность и необходимость применения AR-технологий в образовании, с одной стороны, и недостаточная компетентность педагогов в вопросах моделирования 3D-объектов для реализации AR-технологий, отсутствие готовых решений по 3D моделированию и использованию AR-технологий в казахстанском образовании, с другой стороны, вызывает объективную предпосылку для проведения исследований в этой области. Целью статьи является проведение анализа отечественного и зарубежного опыта применения технологий AR в образовании.

Ключевые слова: сквозные цифровые технологии, 3D моделирование, дополненная реальность (AR), будущие учителя информатики.

Аңдатпа

П.Қ. Тазабекова¹, Ж.К. Нурбекова², Г.И. Аймичева³, Д.С.Найманова⁴

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

⁴Торайгыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан

БІЛІМ БЕРУДЕ ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ШЫНАЙЫЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУЛЕРГЕ ЖҮЙЕЛІ ШОЛУ

Мақала AR технологиясы мысалында білім берудегі цифрлық технологияларды қолдану саласындағы зерттеулерге жүйелі шолу жасауға арналған. Өтпелі цифрлық технологияларды пайдалану нарық талаптарына сәйкес мамандарды даярлауды, цифрлық білім беру технологияларын пайдаланудың халықаралық тәжірибесін енгізу және педагог кадрларды кәсіби даярлаудың тиімділігін арттыру есебінен идеяларды генерациялауды және цифрлық серпінді технологияларды әзірлеуді көздейді. Мақалада цифрлық технологиялар бағыттарының бірі білім беруде AR технологиясын қолдану қарастырылған. Бір жағынан білім беруде AR-технологиясын қолданудың тиімділігі мен қажеттілігі және AR-технологиясын іске асыру үшін 3D-объектілерді модельдеу мәселелерінде педагогтердің құзыреттілігінің жеткіліксіздігі, екінші жағынан қазақстандық білім беруде AR-технологиясын 3D модельдеу және пайдалану бойынша дайын шешімдердің болмауы осы салада зерттеулер жүргізу үшін объективті алғышарт туғызады. Мақаланың мақсаты білім беруде AR технологиясын қолданудың отандық және шетелдік тәжірибелеріне талдау жүргізу болып табылады.

Түйін сөздер: цифрлық технологиялар, 3D модельдеу, толықтырылған шынайылық (AR), болашақ информатика мұғалімдері.

Abstract

A SYSTEMATIC REVIEW OF RESEARCH ON THE USE OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN EDUCATION

Tazabekova P.K.¹, Nurbekova Zh.K.², Aimicheva G.I.³, Naimanova D.S.⁴

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian national University, Astana, Kazakhstan

⁴Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

The article is devoted to a systematic review of research in the field of application of end-to-end digital technologies in education on the example of AR technologies. The use of end-to-end digital technologies involves training specialists in accordance with market requirements, generating ideas and developing digital breakthrough technologies through the introduction of international experience in the use of digital educational technologies and improving the effectiveness of professional training of teaching staff. The article touches upon one of the directions of end-to-end digital technologies related to the use of AR technologies in education. The effectiveness and necessity of the use of AR technologies in education, on the one hand, and the insufficient competence of teachers in the modeling of 3D objects for the implementation of AR technologies, the lack of ready-made solutions for 3D modeling and the use of AR technologies in Kazakh education, on the other hand, causes an objective prerequisite for research in this area. The purpose of the article is to analysis of domestic and foreign experience of using AR technologies in education.

Keywords: end-to-end digital technologies, 3D modeling, augmented reality (AR), future computer science teachers.

Введение

Высокие темпы глобализации и цифровизации экономики, развитие индустрии 4.0 способствуют развитию и широкомасштабному использованию сквозных цифровых технологий во всех сферах жизнедеятельности человека, в том числе и в системе образования. 3D моделирование, направленное как на проектирование образовательного пространства, так и технологических процессов обучения с применением цифровых технологий, в свою очередь представляет собой основу цифровизации образования. Изучение различных аспектов 3D моделирования существенно расширяет представления обучающихся о сквозных цифровых технологиях, современной науке и технике, обеспечивает позитивный опыт применения цифровых технологий в изучаемых дисциплинах. Поскольку реализация интегрируемости цифровых технологий требует глубоких межпредметных связей, то развитие межпредметных связей позволяет создать информационную базу в виде содержательных задач, решение которых стимулирует освоение сквозных цифровых технологий, создает условия для приобретения навыков творческой деятельности.

Однако статистический анализ исследований в области применения сквозных цифровых технологий в образовании говорит о небольшом количестве разработок в этом направлении в нашей стране, именно адаптированных под казахстанскую систему образования и образовательный контент. Можно предполагать, что данные технологии недостаточно исследованы и мало применяются в учебных заведениях страны в силу ряда причин: само AR производство представляют комплексную задачу и затруднено для создания учителями и исследователями, учителя недостаточно владеют готовым инструментарием по разработке 3D моделей, отсутствуют готовые решения по предварительному моделированию AR-объектов и т. д.

Международные исследования подтверждают, что способность моделировать является все более необходимым навыком для будущих учителей информатики [1-3]. Мировые исследования в области применения сквозных технологий в учебном процессе говорят о их высокой эффективности на разных уровнях образования. Примером могут служить исследования в области физики, астрономии, анатомии, химии и т. д. Было замечено, что благодаря использованию сквозных цифровых технологий обучающиеся отличаются высокой мотивированностью к обучению, могут с легкостью открывать для себя новые знания о сложных и недоступных в реальной жизни процессах, отрабатывая практические навыки [4-5]. Например, исследования показали, что обучающиеся при традиционном методе неправильно усваивали некоторые концепции астрономии и это неправильное понимание оставалось у них на протяжении нескольких лет. Благодаря использованию технологии AR удалось добиться точного понимания концепции астрономии. Известно об эффективности использования технологии AR на уроках химии, где обучающиеся во время экспериментов могут смешивать вещества, не боясь ошибиться и получить нежелательные последствия в случае ошибки. Также, использование AR в системе среднего образования в классах химии, улучшает понимание учащимися макро и микроскопического мира химии, биологии улучшая результаты обучения [6].

Более того, исследователи указывают на целесообразность использования дополненной реальности с соблюдением классических дидактических принципов: наглядности, связи, теории с практикой, осознанности и активности, доступности, прочности, научности, системности и последовательности [7]. С помощью AR-технологий можно повысить характеристики оценочных материалов, добавляя взаимодействие на основе прикосновений, голоса, поля ввода, взгляда и жестов, сохраняя принцип валидности и надежности [8].

По статистике популярной платформы, предоставляющей результаты исследований программного обеспечения SaaS/B2B и финансовых продуктов, Finances Online (<https://financesonline.com/augmented-reality-statistics/>) лучшие на сегодняшний день программные решения для графического дизайна используют элементы дополненной реальности (AR) для реалистичной визуализации. Вместе с тем, в отчете по результатам исследования сферы дополненной реальности представлена информация о мировых масштабах рынка AR, демографические данные о пользователях и объемах использования дополненной реальности в мире, прогнозы отрасли AR и многое другое. Согласно исследованиям Finances Online 70% технологических лидеров ожидают, что рынок дополненной реальности превзойдет рынок виртуальной реальности по доходам, кроме того, 49% из них считают, что это произойдет в течение ближайших 3-5 лет. Это говорит о том, что пользователей AR будет больше, чем VR. Причем AR получит широкое применение не только в играх, где его применение в настоящее время доминирует, но и в различных потребительских и коммерческих приложениях [9].

Таким образом, обзор международных публикаций [1]-[8] и результаты международных исследований по данным Finances Online [9] показали:

- 1) рост популярности и функциональности AR в условиях цифровизации экономики, в том числе и сферы образования;
- 2) эффективность применения AR в образовательном процессе в рамках трансформации образования к цифровому поколению и повышению качества цифрового образовательного контента;
- 3) недостаточную изученность и проработанность научно-методических условий применения и методики обучения разработке AR в рамках подготовки будущих и переподготовки состоявшихся учителей информатики.

Методология исследования

С целью сбора реальных данных был проведен социологический опрос на предмет определения объективной востребованности разработки образовательного портала для обучения 3D моделированию через сквозные цифровые технологии, использования педагогами в учебном процессе инновационной методики с применением 3D моделей, AR объектов и желании педагогов повысить профессиональные навыки по 3D моделированию.

В онлайн-анкетировании приняли участие 97 преподавателей вузов и учителей школ. Анкета состояла из таких вопросов, как «Умеете ли вы моделировать?», «Какие программы знаете для создания AR-объектов?», «Умеете ли вы создавать AR объекты?», «Хотели бы научиться бесплатно технологиям создания и применения AR-объектов?», «Какие порталы или платформы используете для разработки AR объектов?». Ранее полученные результаты опроса показали, что не все учителя умеют разрабатывать AR-средства обучения. Разработкой AR средств обучения владеют только 2% опрошенных (97 респондентов).

Полученные нами результаты опроса показали понимание казахстанскими педагогами необходимости владения современным цифровым навыком моделирования образовательных AR-объектов и желание казахстанских педагогов освоить данный профессиональный навык (90% респондентов положительно ответили на вопрос «Считаете ли вы нужным навык 3D моделирования для создания AR-объектов в учебном процессе и хотите ли вы бесплатно обучаться в удобное для себя время на онлайн-платформе»).

В образовательной среде данный навык актуален при разработке интерактивных средств обучения через применение AR технологий. Известно, что применение AR средств активизирует учебно-познавательную деятельность обучающихся, является одним из самых перспективных и эффективных инструментов. Однако использование таких средств затруднено по ряду причин:

- разработка AR инструментов является трудоемким процессом, включающим моделирование;
- отсутствуют свободно доступные ресурсы по обучению 3D моделированию и применению AR/VR;
- не все учителя умеют разрабатывать AR средства обучения.

Результаты исследования

Статистический анализ исследований в области применения сквозных цифровых технологий в образовании говорит о небольшом количестве разработок в этом направлении в нашей стране, именно адаптированных под казахстанскую систему образования и образовательный контент.

Так анализ публикаций в международной базе Scopus в разрезе стран показывает большое количество исследований в этом направлении в Китае (755 статей), США (441 статей), Индонезии (424 статьи), Индии (339 статьи), Германии (272 статьи), тогда как на сегодняшний день Казахстан занимает 44-ое место в рейтинге публикационной активности (24 статей). Этот результат был получен с помощью наукометрического инструмента библиографической базы данных Scopus – SciVal, предназначенного для анализа публикационной активности.

Можно заметить, что с годами публикационная активность ученых Казахстана по направлению AR увеличилась. В статистическом отчете по данным за 2020-2022 годы составленный в сентябре 2022 года Казахстан стоял на 52-месте против 44 места в текущем году. Это свидетельствует об устойчивом интересе к технологиям AR. График на рисунке 1 наглядно иллюстрирует тенденции в количестве исследований, опубликованных за последние годы по данным на сентябрь 2022 и 2023 года соответственно.

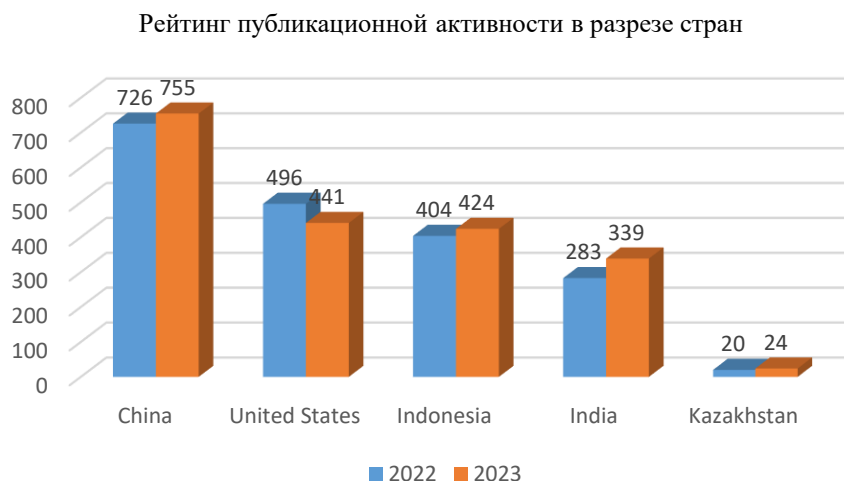


Рисунок 1. Сравнительная характеристика публикационной активности по теме «AR in education» в развитых странах и РК в 2022 и 2023 годах

Для того чтобы умело применять дополненную и виртуальную реальность в учебном процессе важное значение приобретает повышение качества профессиональной подготовки будущего учителя информатики согласно современным вызовам цифровой экономики. Важное значение имеют преподаватели, у которых есть желание использовать AR и которые уже приобрели навыки создания и применения AR-технологий, которые мотивируют их к их использованию.

Мы проанализировали образовательные программы казахстанских вузов по подготовке учителей информатики в целях определения перспектив развития данного направления и для изучения степени и уровня преподавания данного направления в казахстанском образовательном сегменте.

Для проведения анализа образовательного контента по обучению разработке и методике применения AR/VR мы рассмотрели образовательные программы трех вузов Казахстана (см таб.1):

- 1) Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева [10].
- 2) Казахский национальный женский педагогический университет [11];
- 3) Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан [12].

Таблица 1. Анализ образовательных программ

Образовательная программа	Университет	Наименование дисциплины	Объем кредитов	Описание курса	Профессиональные компетенции	Результат обучения
6B01511-Информатика	ЕНУ им. Л.Н. Гумилева	ПД КВ «Виртуальная и дополненная реальность»	5	Данный курс направлен на формирование навыков разработки AR/VR приложений на платформе Unity; реализация приложения AR/VR на с# загрузка; отображение 3D моделей, их анимации и материалов	Способность создавать 3D объекты; владение навыками программной реализации для AR/VR	Уметь моделировать и преобразовывать информационные объекты; овладеть навыками разработки в области AR/VR
6B01506-Информатика	КазНацЖеНПУ	БД КВ Технологии мобильного программирования и дополненная реальность	5	В курсе рассматриваются технологии программирования и разработки приложений в различных мобильных операционных системах, а также теоретические концепции разработки дополненной реальности	Использует предметные и междисциплинарные знания для решения прикладных задач; Знает принципы и технологии создания мобильных приложений и приложений дополненной реальности; Разрабатывает мобильные приложения и приложения дополненной реальности	В ходе курса студенты овладевают навыками проектирования, разработки и программирования мобильных и дополненных реальных приложений и игр
6B01530 – Информатика	Павлодарский педагогический университет имени Э. Маргулан	БД КВ 3D моделирование и дополненная реальность	8	Курс направлен на овладение основами знаний по дополненной реальности, изучение методов создания приложений дополненной реальности	Применяет знания из области вычислительной техники и программирования, компьютерного моделирования; практикует основные методы компьютерного моделирования	Создания объектов дополненной реальности в ROAR; основы работы с SDK Unity 3D и Vuforia; создание приложений в SDK Vuforia

Следует отметить, что в настоящее время существуют альтернативные образовательные ресурсы, представленные зарубежными онлайн МООС-платформами. В таблице 2 отобраны бесплатные и платные онлайн-курсы по AR/VR, но не все курсы охватывает все этапы проектирования AR/VR.

Также, можно отметить, что курсы Coursera платные, аналогичные курсы по разработке AR/VR предлагают такие университеты как: University of London; University of Glasgow; Columbia University; University of Michigan; Yonsei University. Некоторые бесплатные курсы Coursera представлены ниже.

Таблица 2 Анализ зарубежных онлайн-курсов по разработке AR/VR

Название онлайн-платформы	Название курса	Цель и результат обучения	Стоимость курса	URL-адрес платформы/сайта
Coursera	Getting started with Augmented Reality	- Все об основных продуктах и технологиях AR; - Создать различные приложения дополненной реальности с использованием браузера дополненной реальности и инструментов разработки	Бесплатно	https://www.coursera.org
Coursera	Introduction to Augmented Reality and ARCore	На этом занятии вы познакомитесь с основами дополненной реальности (AR) и с тем, как создать AR-интерфейс, используя Hardcore	Бесплатно	https://www.coursera.org
Digital-academy онлайн-школа	Разработка AR/VR	- Разрабатывать AR-приложения с использованием маркерного и безмаркерного трекинга (ARKit/ARCore); - Проектировать и разрабатывать VR-приложения для мобильного и PC	Платно 149 700 ₽/мес, 12 мес обучения	https://digital-academy.ru/schools
Платформа Skillbox	Разработчик AR/VR с нуля до PRO	Овладеть навыками Unity, тонкости работы с 3D и программирование на C# для AR/VR	Платно 768897/мес, 12 мес обучения	https://skillbox.ru
Udemy	Learn to create WebXR, VR and AR, experiences using Three.JS	Создавать приложения виртуальной и дополненной реальности, которые работают в браузере; Использовать библиотеку Three JS для создания этих приложений; Разработка AR-приложений, поддерживающих тестирование в реальном мире	Платно 64,99 \$	https://www.udemy.com

Анализ содержания образовательных программ учителей информатики казахстанских вузов по разработке и применению AR в образовательном процессе показал недостаточную проработанность образовательной траектории по обучению и успешному применению AR в учебном процессе в качестве профессионального инновационного инструмента учителей информатики.

В образовательных программах встречаются некоторые недоработки:

- 1) Не учтены пререквизиты дисциплины;
- 2) Две разные образовательные технологии объединены в одну дисциплину: технология мобильного программирования и дополненная реальность.

Обзор и анализ содержания МООС-курсов по обучению AR также показывает их ограничение в доступности широкому классу казахстанских учителей информатики ввиду высокой стоимости или ограничения знаний английского языка. Кроме того, образовательный контент зарубежных платформ не учитывает социокультурные, национальные и методологические особенности казахстанской образовательной системы.

Одним из важных вопросов при проектировании курса обучения разработке и применения AR в качестве педагогического инструментария с целью достижения запланированного результата обучения, является отбор содержания образовательного контента в соответствии с алгоритмом применения AR-технологий. На рисунке 2 показаны этапы применения разработки AR-технологий, которые следует принять во внимание при проектировании содержательной линии образовательной траектории обучения AR-технологии в рамках формирования профессиональных компетенций и совершенствования подготовки учителей информатики.

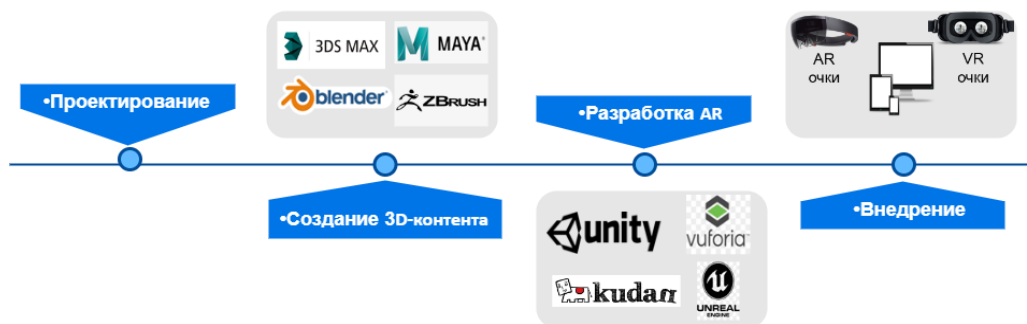


Рисунок 2. Этапы разработки AR

Заключение

Разработка AR инструментов является трудоемким процессом, включающим моделирование. Для успешной реализации, внедрения и применения AR в образовании необходимо иметь свободно доступные ресурсы по обучению 3D моделированию и эффективному применению AR.

Анализ образовательных программ и научных публикаций показал, что в Казахстане недостаточно проработаны вопросы отбора содержания, методологические и методические вопросы эффективного применения AR-технологий в образовании. Наряду с этим, казахстанские учителя не умеют моделировать 3D объекты, что является необходимым навыком для создания и применения AR-технологий. К числу нерешенных вопросов можно отнести и вопрос проектирования системы формирования профессиональной компетенций учителя информатики по разработке и применения AR-технологий в образовательном процессе. Эффективность и необходимость применения AR технологий в образовании, с одной стороны, и недостаточная компетентность педагогов в вопросах моделирования 3D-объектов для реализации AR-технологий, отсутствие готовых решений по моделированию и использованию AR-технологий в казахстанском образовании, с другой стороны, вызывает объективную предпосылку для проведения исследований в этой области.

Для теоретического исследования методологии применения AR в образовательном процессе и изучения методики обучения педагогических кадров разработке AR наиболее целесообразным является разработка образовательного портала. В рамках решения обозначенной проблемы, благодаря содержанию образовательного контента, платформа выступает в качестве:

1. Автономного и легкодоступного самостоятельного инструмента обучения, пользователями которого выступают разные категории обучаемых: студенты педагогических специальностей и учителя общеобразовательных школ;
2. Инструмента сбора учебной аналитики по результатам обучения и оценивания учебных проектов, выполненных обучаемыми;
3. Инструмента сбора и обработки обратной связи полученной от обучаемых в результате анкетирования и опросов.

Информация о финансировании. Это исследование выполнено в рамках грантового финансирования проекта (грант ИРН AP19175729) от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список использованной литературы:

- 1 "Zspace applications." [Online]. Available: <https://zspace.com/apps/>
- 2 M. Strzys, S. Kapp, M. Thees, P. Klein, P. Lukowicz, P. Knierim, A. Schmidt, and J. Kuhn, "Physics holo. Lab learning experience: using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction," *European Journal of Physics*, vol. 39, no. 3, p. 035703, 2018.
- 3 "Human anatomy atlas offers augmented reality," 2018. [Online]. Available: <https://www.visiblebody.com>
- 4 Hadi Ardiny, *The Role of AR and VR Technologies in Education Developments: Opportunities and Challenges*, 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM), 2018
- 5 Tolganbaiuly T., Tazabekova P., Abildinova G., Nurbekov B. Enhance Students' Motivation to Learn programming through projects, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Vol 15, No 21 (2020), p.133-144 *Scopus Квартиль – Q2, Процентиль – 52 (Social sciences: Education)*
- 6 Toledo Morales Purificación, García José Manuel. Use of Augmented Reality in Social Sciences as Educational Resource // *Turkish Online Journal of Distance Education*. – 2018. – Vol. 19. – P. 38-52
- 7 Nurbekova, Zh., Baigusheva, B. (2020) On the Issue of Compliance with Didactic Principles in Learning using Augmented Reality, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Vol. 15, No. 15, pp. 121-132, <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i15.14399>
- 8 Sembayev, T., Nurbekova, Z., Abildinova, G. The Applicability of Augmented Reality Technologies for Evaluating Learning Activities. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2021, 16(22), 189–207
- 9 Vital Augmented Reality Statistics: 2023 Market Share & Data Analysis <https://financesonline.com/augmented-reality-statistics/>
- 10 Образовательная программа по направлению 6B01511-Информатика, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Электронный ресурс. <http://enu.kz, 2023>
- 11 Образовательная программа по направлению 6B01506-Информатика. КазНацЖенПУ. Электронный ресурс. <https://kazmkpu.kz/ru/, 2023>
- 12 Образовательная программа по направлению 6B01530 – Информатика, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан. Электронный ресурс. <https://ppu.edu.kz/kz/, 2023>

References:

- 1 "Zspace applications." [Online]. Available: <https://zspace.com/apps/>
- 2 M. Strzys, S. Kapp, M. Thees, P. Klein, P. Lukowicz, P. Knierim, A. Schmidt, and J. Kuhn, "Physics holo. Lab learning experience: using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction," *European Journal of Physics*, vol. 39, no. 3, p. 035703, 2018.
- 3 "Human anatomy atlas offers augmented reality," 2018. [Online]. Available: <https://www.visiblebody.com>
- 4 Hadi Ardiny, *The Role of AR and VR Technologies in Education Developments: Opportunities and Challenges*, 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM), 2018
- 5 Tolganbaiuly T., Tazabekova P., Abildinova G., Nurbekov B. Enhance Students' Motivation to Learn programming through projects, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Vol 15, No 21 (2020), p.133-144 *Scopus Квартиль – Q2, Процентиль – 52 (Social sciences: Education)*
- 6 Toledo Morales Purificación, García José Manuel. Use of Augmented Reality in Social Sciences as Educational Resource // *Turkish Online Journal of Distance Education*. – 2018. – Vol. 19. – P. 38-52
- 7 Nurbekova, Zh., Baigusheva, B. (2020) On the Issue of Compliance with Didactic Principles in Learning using Augmented Reality, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, Vol. 15, No. 15, pp. 121-132, <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i15.14399>
- 8 Sembayev, T., Nurbekova, Z., Abildinova, G. The Applicability of Augmented Reality Technologies for Evaluating Learning Activities. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2021, 16(22), 189–207
- 9 Vital Augmented Reality Statistics: 2023 Market Share & Data Analysis <https://financesonline.com/augmented-reality-statistics/>
- 10 Educational program in the direction 6B01511-Computer Science [Educational program in the direction 6B01511- Informatics]. L.N. Gumilyov Eurasian national University. Electronic resource. <http://enu.kz, 2023>. (In Russian)
- 11 Educational program in the direction 6B01506-Computer Science [Educational program in the direction 6B01506- Informatics]. Kazakh National Women's Teacher Training University. Electronic resource. <https://kazmkpu.kz/ru/, 2023>. (In Russian)
- 12 Educational program in the direction 6B01530 – Информатика [Educational program in the direction 6B01530- Informatics], Margulan University. Electronic resource. <https://ppu.edu.kz/kz/, 2023>. (In Russian)

Ш.Т. Шекербекова¹, М.И. Ревшенова^{1*}, Е.Х. Жабаяев¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
*e-mail: revshenova@mail.ru

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В ШКОЛЕ

Аннотация

В современном образовательном мире робототехника стала одной из ключевых областей для развития учащихся. Эта новая технология обучения предоставляет детям возможность вовлечься в процесс инженерного творчества начиная с младшего школьного возраста. Также помогает учащимся развивать навыки командной работы, проблемного мышления, креативности и инноваций. Образовательная робототехника, новое междисциплинарное направление обучения школьников, интегрирующее знания о физике, мехатронике, технологии, математике, кибернетике и ИКТ. Образовательная робототехника позволяет вовлечь обучающихся разного возраста в процесс инновационного научно-технического творчества. Робототехника в школе предоставляет учащимся возможность развивать навыки, которые будут необходимы им в будущем. Она не только увлекательна, но и способствует формированию критического мышления, творческих способностей и навыков, которые могут быть применены в различных областях жизни. Поэтому преподавание робототехники следует рассматривать как важную часть подготовки нового поколения к вызовам и возможностям будущего.

Ключевые слова: образовательная робототехника, технология, преподавание, школьники, знание, моделирования, навыки, программирование роботов.

Аңдатпа

Ш.Т. Шекербекова¹, М.И. Ревшенова¹, Е.Х. Жабаяев¹

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

МЕКТЕПТЕ РОБОТОТЕХНИКАНЫ ОҚЫТУДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Қазіргі білім беру әлемінде робототехника оқушылардың дамуының негізгі бағыттарының біріне айналды. Бұл жаңа оқыту технологиясы балаларға бастауыш мектеп жасынан бастап инженерлік шығармашылық үдерісіне қатысуға мүмкіндік береді. Бұл сонымен қатар студенттерге топтық жұмыс, проблемалық ойлау, шығармашылық және жаңашылдық дағдыларын дамытуға көмектеседі. Білім беру робототехникасы – бұл физика, мехатроника, технология, математика, кибернетика және АКТ туралы білімдерді біріктіретін мектеп оқушыларына арналған білім берудің жаңа пәнаралық саласы. Білім беру робототехникасы әртүрлі жастағы оқушыларды инновациялық ғылыми-техникалық шығармашылық үдерісіне тартуға мүмкіндік береді. Мектептегі робототехника оқушыларға болашақта қажет болатын дағдыларды дамытуға мүмкіндік береді. Бұл қызықты ғана емес, сонымен қатар сыни ойлауды, шығармашылықты және өмірдің әртүрлі салаларында қолдануға болатын дағдыларды дамытады. Сондықтан мектепте робототехниканы оқыту жаңа ұрпақты болашақтың қиындықтары мен мүмкіндіктеріне дайындаудың маңызды бөлігі ретінде қарастырылуы керек.

Түйін сөздер: білім беру робототехникасы, технология, оқыту, мектеп оқушылары, білім, модельдеу, дағдылар, роботты бағдарламалау.

Abstract

CURRENT ISSUES IN TEACHING ROBOTICS AT SCHOOL

Shkerbekova Sh.T.¹, Revshenova M.I.¹, Zhabayev Ye.H.¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

In today's educational world, robotics has become one of the key areas for student development. This new learning technology provides children with the opportunity to become involved in the process of engineering creativity from primary school age. It also helps students develop skills in teamwork, problem-solving thinking, creativity and innovation. Educational robotics is a new interdisciplinary area of education for schoolchildren, integrating knowledge about physics, mechatronics, technology, mathematics, cybernetics and ICT. Educational robotics allows you to involve students of different ages in the process of innovative scientific and technical creativity. Robotics in school provides students with the opportunity to develop skills they will need in the future. Not only is it fun, but it also develops critical thinking, creativity, and skills that can be applied to a variety of areas in life. Therefore, teaching robotics in school should be seen as an important part of preparing the new generation for the challenges and opportunities of the future.

Keywords: educational robotics, technology, teaching, schoolchildren, knowledge, modeling, skills, robot programming.

Введение

Образовательная робототехника, как междисциплинарное направление обучения, представляет собой уникальную возможность для школьников разного возраста развивать целый спектр навыков и знаний. Она объединяет знания из разных областей, таких как физика, мехатроника (область машиностроения и электроники), технология, математика, кибернетика и информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). Это позволяет учащимся понимать, как различные дисциплины могут быть применены на практике. Учащиеся могут создавать и программировать роботов, что делает обучение более интересным и практически ориентированным. Это помогает им понимать, как работают различные технические концепции и применять их на практике [1-2].

Образовательная робототехника способствует развитию разнообразных навыков, таких как проблемное мышление, творческое решение задач, программирование, командная работа и умение адаптироваться к новым технологиям. Школьники имеют возможность участвовать в инновационных проектах и экспериментах, что способствует их интересу к науке и технике. Это также может подтолкнуть их к выбору профессии в сфере науки, технологии и инженерии.

В настоящее время роботы вошли во многие сферы нашей жизни, в частности, в освоение космоса, здравоохранение, производство, общественную безопасность, оборону и другие сферы. Ускоренная индустриализация промышленности Республики Казахстан, а также бурное развитие технологий требуют подготовки молодого поколения как высококвалифицированных технических специалистов.

Методология исследования

В ходе исследования были изучены работы отечественных учёных по образовательной робототехнике, представленные в трудах Т.Ж. Байдилдинова, М.У. Мукашевой (обучение робототехнике и использование её возможностей в начальной школе); Е.Ы. Бидайбекова, Б.Г. Бостанова, М. Серік (обучение робототехнике в вузе, как раздел специальной профессиональной подготовки); Ж.К. Нурбековой, А. Ж. Асаиновой и других (обучение робототехнике для повышения мотивации школьников и студентов). Проанализированы школьные учебники по информатике, используемые в учебном процессе, кроме того, использовался ряд методов: метод теоретического анализа, проводимого с целью комплексного исследования, определения степени исследования и определения комплекса педагогических условий для его решения. Также был проанализирован международный педагогический опыт в области образовательной робототехники.

Результаты

Вовлечение учащихся и преподавателей в деятельность по робототехнике способствует развитию полезных навыков, необходимых в 21 веке повышенного спроса на высокотехнологичные приложения, таких как такие понятия и ценности, как командная работа, творчество, честная конкуренция, компьютерное мышление, решение проблем, инновации, прогресс.

Исследования в области робототехники показали, что роботы потенциально влияют на обучение учащихся по различным предметам (физика, математика, инженерия, информатика и т.д.) и на личностное развитие, включая когнитивные, метакогнитивные и социальные навыки, такие как: исследование, навыки, творческое мышление, принятие решений, решение проблем, навыки общения и работы в команде. Кроме того, использование роботов в сфере образования включает в себя и другие сопутствующие аспекты обучения учащихся, к которым относятся содействие развитию логического мышления, психомоторики, пространственного восприятия учащихся, содействие самостоятельности учащихся посредством развития своих проектов. На внедрение робототехники существенное влияние оказывает уровень знаний, навыков и отношения учителей к образовательному процессу.

Таким образом, внедрение робототехники в школы требует не только предоставления о робототехнике, но и перехода от обычных или традиционных методов обучения к цифровым.

Для обучения робототехнике в школе может быть использованы виртуальные среды и симуляторы по робототехнике. Виртуальные среды и симуляторы в робототехнике представляют собой программные инструменты, которые моделируют и имитируют работу роботов в виртуальном окружении. Они предоставляют учащимся возможность изучать и практиковать навыки робототехники без необходимости физического наличия реального робота или оборудования. Учащиеся могут программировать и тестировать свои навыки виртуально. Использование виртуальных сред и симуляторов в образовательной робототехнике позволяют стимулировать интерес

у учащихся к технике, формируя способности к программированию, которые способствуют развитию логического и алгоритмического мышления учащихся.

Образовательная область робототехники является развивающейся и гибкой областью, что даёт нам возможность использовать новые образовательные подходы.

Дискуссия

В настоящее время очень важно и актуально внедрение основ робототехники в сферу образования. Направление развития робототехники имеет большое будущее. Роботы – одна из передовых технологий стремительно развивающегося будущего [3-4].

Обучение робототехнике для учащихся представляет собой отличную платформу, которая способствует развитию логического мышления, математических и алгоритмических навыков, работу в команде, навыки публичных выступлений. В процессе программирования роботов от учащихся требуется разработка чётких логических алгоритмов. Этот процесс способствует развитию логического мышления и умения структурировать задачи для последовательного их решения. Робототехника позволяет улучшить математические способности учащихся. При работе с роботами ученики применяют знания из геометрии, тригонометрии и алгебры для расчётов и проектирования. Для решения сложных задач в робототехнике важно обладать алгоритмическими навыками, которые развиваются при создании программ и алгоритмов для роботов, где учащиеся учатся разбивать сложные задачи на более мелкие шаги и последовательно выполняя алгоритм находить их решения. В обучении робототехнике предоставляются групповые проекты, где учащиеся разбиваются на мелкие группы и распределяют между собой задачи, обсуждают пути решения той или иной задачи, тем самым развивая навыки коммуникации, сотрудничества и обмена идеями. Также проекты в робототехнике предполагают демонстрацию своих результатов перед остальными учащимися, группами, предусматривается защита своих проектов, презентация, чёткое и ясное изложение своих идей, решений. Это в свою очередь позволяет развивать навыки публичных выступлений и изложение мыслей.

Обучение робототехнике не только интересно, но и способствует разностороннему развитию учащихся, помогая им приобрести ценные навыки для будущей карьеры и общей жизни. Робототехника играет важную роль в современном мире, работа с роботами способствует развитию научного мышления и способности к анализу и экспериментам, обучение робототехнике позволяет интегрировать знания из разных областей, таких как математика, физика, информатика и технические науки, что способствует более глубокому пониманию этих дисциплин. Мир все больше зависит от технологий, и обучение робототехнике обеспечивает учащимся навыки и компетенции, необходимые для успешной адаптации к жизни в цифровой эпохе. Работа в команде при создании роботов учит учащихся сотрудничеству, коммуникации и решению проблем в группе. Робототехника может пробудить интерес учащихся к научным и техническим дисциплинам, что может стать стимулом для дальнейшего обучения и исследовательской деятельности. В целом, обучение робототехнике имеет множество положительных аспектов и может подготовить учащихся к успешной и перспективной карьере в мире технологий и инноваций.

Наиболее популярным конструктором для организации занятий по робототехнике в казахстанских школах является различные версии конструктора Lego Mindstorms. Важным преимуществом Lego Mindstorms является его простота и гибкость. Комплект позволяет подобрать необходимые детали для любой задачи или объединить несколько комплектов для решения сложных задач.

Ниже представлен конструкторы Lego Mindstorms, которые выпускаются с 1998 года и широко распространены во многих странах мира (рис.1). Lego Mindstorms – это серия конструкторов от компании Lego, предназначенные для создания и программирования собственных роботов [5-7]. Они позволяют учащимся разрабатывать и управлять автономными механическими устройствами, используя детали LEGO и специальные электронные компоненты.

Конструкторы Lego Mindstorms включают в себя широкий набор разнообразных деталей, разные типы блоков, колеса, моторы и датчики. Все конструкторы имеют центральный блок, который называется "блоком управления". Он содержит микроконтроллер, разъёмы для подключения моторов и датчиков, а также возможности для программирования. В Lego Mindstorms предусмотрена возможность программировать своего робота, используя графический интерфейс для создания программ с использованием блоков, представляющие различные действия и условия. В комплект конструктора Lego Mindstorms входят различные датчики. Датчики цвета, сенсоры касания и датчики

расстояния позволяют роботу взаимодействовать с окружающей средой и принимать решения на основе собранных данных. Наборы Lego Mindstorms очень удобны для учащихся начальных классов, для начинающих, без базового знания программирования, так как в наборах включены инструкции для создания нескольких базовых моделей роботов, что существенно помогает новичкам начать и освоить основы, после чего позволяет создавать свои собственные конструкции и программы [8-10]. Конструкторы Lego Mindstorms используют не только в обучении робототехнике, но и для преподавания STEM - дисциплин (науки, технологии, инженерии и математики). Они развивают навыки программирования, стимулируя интерес учащихся к науке и технике.



Рисунок 1. Конструкторы Lego Mindstorms

Lego Mindstorms предоставляют уникальную возможность для учащихся погрузиться в мир робототехники, инженерии и программирования, используя знакомые и удобные конструкторы Lego. Это увлекательный и образовательный способ развивать навыки и творчески подходить к созданию роботов. Высокое качество деталей конструктора Lego сочетается с достаточной прочностью, безопасностью, простотой сборки, не требующей специальных инструментов. Системы программирования конструкторов адаптированы для соответствующего возраста детей.

Образовательная робототехника предоставляет уникальные возможности для развития навыков учащихся в современном мире, в частности, обучение робототехнике стимулирует учеников думать креативно и находить новые способы решения задач, решение реальных задач и преодоление технических препятствий, критическое мышление и анализ результатов, навыки управления проектами и временем, работа в командах над проектами по робототехнике способствует развитию навыков коллаборации, коммуникации и совместной работы, технологическую грамотность.

Робототехника позволяет учащимся применять свои знания в практических сценариях, таких как автоматизация задач, создание роботов для решения конкретных проблем и даже участие в соревнованиях. Навыки, приобретаемые через образовательную робототехнику, могут быть полезными для будущей карьеры в области науки, технологии, инженерии и математики (STEM) [11].

Образовательная робототехника является мощным инструментом для стимулирования учеников и помогает им развивать навыки, которые не только полезны в академическом смысле, но и пригодятся в их будущих жизнях и профессиональных карьерах.

Несмотря на возможности, которая предоставляет образовательная робототехника, она часто сталкивается с рядом проблем и вызовов при их внедрении и реализации, которые являются актуальными вопросами для преподавания робототехники (рис.2), а именно недоступностью или же полным отсутствием учебных программ и методических рекомендаций для педагогов, отсутствием у большинства учащихся мотивации и желания изучать основы алгоритмизации и программирования из-за того, что они считают это сложным и неинтересным занятием, нехваткой времени или ограниченным временем учителей для работы над проектами, которые требуют нескольких занятий и стоимость комплектов робототехники часто мешает школам продвигать робототехнику в классе, проводить занятия на нужном уровне.



Рисунок 2. Актуальные вопросы преподавания робототехники

Актуальные вопросы преподавания робототехники, занимают центральное положение в современной образовательной парадигме и включают в себя обучение преподавателей, разработку качественных образовательных материалов (недостаточное содержание может затруднить усвоение материала учащимися и усложнить процесс обучения), техническую поддержку, мотивацию учащихся и содействие в интеграции новых методик в учебные планы. Многим преподавателям требуется дополнительная подготовка, которая включает в себя обучение основам программирования, знакомство с оборудованием и методами преподавания робототехники. Поэтому одним из ключевых моментов является обеспечение квалификации преподавателей для успешного преподавания робототехники. В процессе обучения робототехники могут возникнуть технические сбои, проблемы в работе с оборудованием, с которыми могут столкнуться преподаватели и учащиеся. Для успешной реализации полноценных программ по робототехнике требуется доступность оборудования, однако не все учебные заведения могут обеспечить доступ к современным робототехническим устройствам.

Одним из путей решения вышеперечисленных проблем являются виртуальные среды и симуляторы. Использование виртуальных сред и симуляторов предоставляют обучающимся возможность выполнения практической работы по робототехнике, не требуя физического наличия реального оборудования.

Виртуальные среды и симуляторы позволяют обучающимся разрабатывать и отлаживать системы управления для роботов. Они могут создавать модели роботов, настраивать и программировать их компоненты, а затем тестировать и проверять работу системы управления в виртуальной среде. Это помогает им развить навыки проектирования и отладки робототехнических систем. Виртуальные среды и симуляторы предоставляют платформу для исследования и разработки новых решений. Обучающиеся могут экспериментировать с различными датчиками, алгоритмами и стратегиями управления, чтобы создавать более эффективные и инновационные робототехнические системы. В настоящее время существует множество виртуальных сред и симуляторов по робототехнике. Основные из них, применяемые в образовательной среде представлены ниже на рисунке (рис.3). При выборе виртуальных сред и симуляторов в обучении робототехнике необходимо учитывать направления, возраст и уровень подготовки учеников.

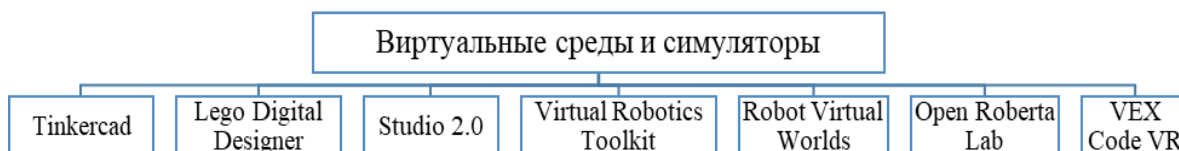


Рисунок 3. Виртуальные среды и симуляторы по робототехнике

Преподавание робототехники в школе предоставляет учащимся множество уникальных возможностей для обучения и развития (рис.4).



Рисунок 4. Возможности образовательной робототехники

К возможностям образовательной робототехники относятся развитие STEM - навыков (робототехника обучает учащихся наукам, технологиям, инженерии и математике (STEM), развивая ключевые навыки, такие как логическое мышление, математический анализ и решение проблем), учебные цели (интеграция робототехники в учебные программы), учащиеся могут приобрести практические навыки в области инженерии, электроники и программирования, развитие креативности (при создании и проектировании роботов учащиеся могут экспериментировать с разными идеями выражая свою креативность), работа в команде (в ходе обучения робототехнике учащимся часто предоставляется возможность работать в группах при выполнении совместных проектов, которая способствует развитию навыков коммуникации и сотрудничества), подготовка к будущей профессии (обучение робототехнике может стимулировать интерес учащихся к профессиям в сфере технологий, инженерии и информатики), робототехнические соревнования и проекты (учащиеся могут участвовать в соревнованиях по робототехнике и проектах, где они могут применить свои знания на практике и продемонстрировать свои навыки), робототехника помогает учащимся адаптироваться к быстро меняющемуся миру с высокими технологиями и развивать навыки, необходимые для работы в цифровой эпохе, также практика решения реальных проблем (создание роботов при обучении робототехники позволяют учащимся находить решения реальных проблем, которые могут выполнять различные жизненные задачи). Преподавание робототехники в школе имеет множество позитивных перспектив и это важный шаг в подготовке учащихся к современному миру и будущим вызовам.

Заключение

Робототехника в школе – это отличный способ подготовки детей к современной жизни, наполненной высокими технологиями. Полученные знания по этой дисциплине откроют перед подрастающим поколением большое количество возможностей. А использование виртуальных сред и симуляторов только ускорит обучение и откроет доступ к моделированию роботов всем желающим. Занятия по робототехнике вовлекают учащихся в критическое и вычислительное мышление, решение проблем и сотрудничество, а также в инженерное дело и информатику.

Робототехника становится важным инструментом в процессе преподавания и обучения, предоставляя возможность применять понимание методов обучения и активное осмысление учащимися. Исследования в области робототехники показали, что роботы потенциально влияют на обучение учащихся по различным предметам (физика, математика, инженерия, информатика и т.д.) и на личностное развитие, включая когнитивные, метакогнитивные и социальные навыки, такие как: исследование, навыки, творческое мышление, принятие решений, решение проблем, навыки общения и работы в команде. Кроме того, использование роботов в сфере образования включает в себя и другие сопутствующие аспекты обучения учащихся, к которым относятся содействие развитию логического мышления, психомоторики, пространственного восприятия учащихся, содействие самостоятельности учащихся посредством развития своих проектов.

Благодарность. Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, в рамках грантового исследования: №AP19579496 «Разработка мобильного приложения по обучению робототехнике для учащихся средней казахской школы».

Список использованных источников:

1. Ericson A. Robotics as an Educational Tool // *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. – 2022. – Т. 8. P. 254-257.
2. Жаббаев, Е., Ревшенова, М. Виртуальные среды и симуляторы в обучении робототехнике. // *Вестник «Физико-математические науки»*. – 2023. No 82, 2 С. 214-219.
3. Шекербекова Ш., Абдулкаримова Г., Арынова Г., Ербол А. Организация проектной деятельности при обучении образовательной робототехнике будущих учителей информатики. // *Вестник «Физико-математические науки»*. – 2021, No 74, 2 (июл.), С. 77–85. DOI:<https://doi.org/10.51889/2021-2.1728-7901.10>.
4. Tselegkaridis S. Exploring the Features of Educational Robotics and STEM Research in Primary Education: Systematic Literature Review // *Education Sciences*. 2022. – No 12. С. 305-311.
5. Цеева Ф. М., Нагаплежеева Р. Р. Актуальные вопросы преподавания робототехники в школе // *Педагогический журнал*. – 2022. – Т. 12. – №. 3А. – С. 326-331.
6. Afari E., Khine M. S. Robotics as an educational tool: Impact of lego mindstorms // *International Journal of Information and Education Technology*. – 2017. – Т. 7. – №. 6. – С. 437-442.
7. Anikanova K.I. Engineering design as a general area of study of informatics at the school of International Baccalaureate // *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022. Vol. 19. No 2. P. 157-164.
8. Barker B. S., Ansoorge J. Using robotics as an educational tool in 4-H // *Journal of Extension*. – 2006. – Т. 44. – №. 5. – С. 5IAW
9. Benitti F. Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review // *Computers & Education*. – 2012. – Т. 58. – №. 3. – С. 978-988.
10. Miglino O., Lund H. H., Cardaci M. Robotics as an educational tool // *Journal of Interactive Learning Research*. – 1999. – Т. 10. – №. 1. – С. 25-47.
11. Mikropoulos T. A., Bellou I. Educational robotics as mindtools // *Themes in Science and Technology Education*. – 2013. – Т. 6. – №. 1. – С. 5-14.

References:

1. Ericson A. Ro (2022) botics as an Educational Tool // *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. T. 8. P. 254-257.
2. Zhabaev, E. i Revshenova, M. (2023) Virtual'nye sredy i simuljatory v obuchenii robototehnike [Virtual environments and simulators in robotics education]. *Vestnik «Fiziko-matematicheskie nauki»*. No 82, 2. P. 214-219. (In Russian)
3. Shekerbekova, Sh., Abdulkarimova, G., Arynova, G. i Erbol, A. (2021) Organizacija proektnoj dejatel'nosti pri obuchenii obrazovatel'noj robototehnike budushhih uchitelej informatiki [Organization of project activities in teaching educational robotics to future computer science teachers]. // *Vestnik «Fiziko-matematicheskie nauki»*. 74, 2 P. 77-85. DOI:<https://doi.org/10.51889/2021-2.1728-7901.10>. (In Russian)
4. Tselegkaridis S. (2022) Exploring the Features of Educational Robotics and STEM Research in Primary Education: Systematic Literature Review // *Education Sciences*. No 12. P. 305-311.
5. Ceeva F. M., Nagaplezheva R. R. (2022) Aktual'nye voprosy prepodavaniya robototehniki v shkole [Current issues in teaching robotics at school]. // *Pedagogicheskij zhurnal*. T. 12. No 3A. P. 326-331. (In Russian)
6. Afari E., Khine M. S. (2017) Robotics as an educational tool: Impact of lego mindstorms // *International Journal of Information and Education Technology*. T. 7. No 6. P. 437-442.
7. Anikanova K.I. (2022) Engineering design as a general area of study of informatics at the school of International Baccalaureate // *RUDN Journal of Informatization in Education*. Vol. 19. No 2. P. 157-164.
8. Barker B. S., Ansoorge J. (2006) Using robotics as an educational tool in 4-H // *Journal of Extension*. T. 44. No 5. P. 5IAW
9. Benitti F. (2012) Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review // *Computers & Education*. T. 58. No. 3. P. 978-988.
10. Miglino O., Lund H. H., Cardaci M. (1999) Robotics as an educational tool // *Journal of Interactive Learning Research*. T. 10. №. 1. P. 25-47.
11. Mikropoulos T. A., Bellou I. (2013) Educational robotics as mindtools // *Themes in Science and Technology Education*. T. 6. №. 1. P. 5-14.

УӘЛИЕВ ҒАХИП УӘЛИҰЛЫ – ҒАЛЫМ, ҰСТАЗДАРДЫҢ ҰСТАЗЫ

Техника ғылымының докторы, профессор, ҚР Ұлттық ғылым академиясының, ҚР Инженер және ҚР Жоғары мектеп ғылымдар академияларының академигі, ғылым және техника саласындағы Мемлекеттік сыйлығының лауреаты, КСРО Жоғары мектебінің және ҚР Білім беру ісінің үздігі **Уәлиев Ғахип Уәлиұлы** жайлы сөз қозғап, үлкен мақтанышпен еске аламыз.

Қазақстанда механизмдер мен машиналар механикасы ғылымының дамуына үлкен үлес қосқан, ғұлама ғалым - академик Уәлиев Ғахип Уәлиұлы, механизмдер мен машиналар механикасы саласының майталман маман ұстаздардың ұстазы болған нар тұлға. Ғахип Уәлиев механикалық жүйелерді математикалық модельдеу, сараптамалық механика, механизмдер мен машиналар теориясы саласында



Тәуелсіз мемлекеттер достастығы бойынша көрнекті ғалымдардың бірі.

Ол механикалық жүйелер және құрылымы айнымалы механизмдер динамикасы мен олардың математикалық модельдерін жасау әдістерінің Қазақстан Республикасында негізін салушы, бұл бағыттағы ғылыми мәселелерді әрі қарай дамытушы.

Ғахип Уәлиұлы артында өлместей іс қалдырды. Теориялық және қолданбалылығы жағынан аса тиімді нәтижелерге қол жеткізді. Айнымалы құрылымды серпімді байланыс буындары бар механизмдердің математикалық модельдерінің аналитикалық әдістерін жасады, жетектеменің сипаттамаларын ескере отырып, айнымалы сызықсыз параметрлері бар технологиялық машиналардың динамикалық модельдерін құруды автоматтандыру әдістерін жасады. Механикалық шамаларды өлшейтін қондырғы жүйелер және өлшеуіш құралдары жасалды. Өмірінің соңғы жылдарында өз шәкірттерімен функциялары сызықты емес жоғарғы класты механизмдерінің анализі мен синтезінің аналитикалық әдістерін жасау бойынша ғылыми ізденістерін жүргізді.

Академик Ғахип Уәлиев жоғарғы ғылыми және ғылыми-педагогикалық мамандар даярлауда да белсенді болды, 230-тан астам ғылыми еңбектері жарияланды, оның ішінде 5 монография, 3 оқулық, 5 оқу құралы және 4 оқу-әдістемелік құралын жазып шығарды, алыс шет елдердің 18 авторлық куәліктер мен патенттердің авторы (Италияда, Германияда, Швейцарияда, Қазақстан). Ғахип Уәлиұлының жетекшілігімен 10 докторлық, 20 кандидаттық диссертация қорғалды.

Ғахип Уәлиұлы Уәлиев 1999 жылдан бастап, өмірінің соңына дейін Абай атындағы ҚазҰПУ, Математика, физика және информатика факультетінің деканы, механика және қолданбалы физика кафедрасының меңгерушісі, Құрметті кафедра меңгерушісі қызметтерін атқарып келді.

Абай атындағы ҚазҰПУ-нің Хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы журналын алғаш рет шығаруға атсалысқан ғалым, көп жылдар бойы журналдың *Бас редакторы* қызметін атқарып келді.

Ғахип Уәлиевтің еңбектері әлі де механизмдер мен машиналар механикасы саласын дамытуға, жаңа технологиялар жасауда, жас мамандар даярлауда көп пайдасын тигізетініне сенеміз. Себебі, Уәлиев Ғ.У. ғылымның қыр-сырын өзі ғана оқып танып қана қоймай, оны кейінгі жас ұрпаққа үйретіп, қалдыра білді. Оған Ғахип Уәлиұлының қолынан шыққан көптеген ғылыми-әдістемелік оқу құралдары мен оқулықтары, тәрбиелеген шәкірттері күә. Ғахип Уәлиұлының өмірі, ғылым жолы кейінгі ұрпаққа үлгі өнеге!

Ғахип Уәлиұлы Уәлиев біз үшін білім айдынына талай механика- ғалымдарды тәрбиелеп шығарған – ғалым, ұлы Ұстаз. Ғахип Уәлиұлының жарқын бейнесі әрқашан көз алдымызда болады, жүрегімізде мәңгі сақталады.

Абай атындағы ҚазҰПУ
«Вестник. Физика-математика ғылымдары сериясы»
журналының редакциялық алқасы,
Жаменкеев Е.К.
қауым.профессоры м.а., тех. ғылымдарының кандидаты